行政院農業委員會農業試驗所特刊132號

綠色油田在農業永續發展扮演的角色

研討會專刊

主　　編：林俊義　　蔡武雄　　廖慶樑
執行編輯：簡宣裕　　張明暉　　劉禎祺

補助單位：行政院農業委員會農糧署
主辦單位：行政院農業委員會農業試驗所
中華永續農業協會

行政院農業委員會農業試驗所
中華永續農業協會　　編印

中華民國九十六年十二月

中華永續農業協會第七屆第二次會員大會暨
綠色油田在農業永續發展扮演的角色研討會　九十六年六月十五日於臺灣省政資料館國際會議廳

行政院農業委員會農業試驗所特刊 132 號

綠色油田在農業永續發展扮演的角色
研討會專刊

主　　編　　林俊義　蔡武雄　廖慶樑
執行編輯　　簡宣裕　張明暉　劉禎祺

補助單位：行政院農業委員會農糧署
主辦單位：行政院農業委員會農業試驗所
　　　　　中華永續農業協會

行政院農業委員會農業試驗所
編印
中 華 永 續 農 業 協 會

中 華 民 國 九 十 六 年 十 二 月

目錄

林理事長序 I

蔡秘書長武雄序. .... Ⅱ

我國綠色油田之政策（黃有才署長）..................... 1

國內外生質酒精發展策略與推廣現況（左峻德所長）...... 7

能源作物之推廣對農業生態之影響（王裕文博士）....... 17

能源作物與休閒農業之發展（蘇宗振科長）............. 19

油脂作物品種開發與栽培（楊金興博士）............... 23

醣質與澱粉作物品種開發與栽培（賴永昌博士）.......... 47

生質能源副產物之開發（吳永培博士）.................. 63

台糖產出生質酒精的發展（劉嘉哲博士）............... 77

生質柴油的發展與推動（林昀輝博士）.................. 87

木質纖維素產生能源方法之探討（簡宣裕研究員）...... 103

林 序

19 世紀至 20 世紀大量的開採與利用石油，供應了便宜與方便的能源，全世界工業及其他產業因此迅速發展，對人類文明與生活品質提昇有非常大的貢獻。但大量燃燒石油所釋放出之二氧化碳、氮氧化物等氣體，不但造成空氣污染且產生溫室效應，導致使全球暖化與氣候變遷，石油的蘊藏量快速減少並趨向於枯絕。再生能源的推行具有活化農業、能源自足、維持經濟發展及環境保護的多重效益，各國已將再生能源之開發列為重要之政策項目。能源作物在生長過程中可以吸收二氧化碳等氣體，對於空氣品質改善與氣候穩定有顯著的幫助，因此行政院於 94 年 6 月召開全國能源會議，決定將生質能源列為臺灣未來替代能源之一，農業委員會配合國家能源政策，推動「建立能源作物產銷體系」 計畫，以提高休耕農地利用率及帶動農業週邊產業，增加農村就業機會，並提高能源自主比例及保護生活環境。

推動農業生產與生態環境和諧發展，利用有限的生產資源及減少消耗能源並開發新能源，讓農業能永續經營，是目前迫切需要進行的農業施政工作。中華永續農業協會為了積極推行農業永續經營的理念，在行政院農業委員會農糧署的經費支持下，與行政院農業委員會農業試驗所合作舉辦 「綠色油田在農業扮演的角色」 研討會，邀請主導農業政策之政府官員、學有專精之大學教授與研究人員以及具有實務經驗之專家，講授我國綠色油田之政策、生質能源之策略與推廣及對農業之永續發展、能源作物品種開發與栽培方法以及產出生質能源與副產物之新思維與技術，並邀請實際從事農業生產的相關人員及農民參與。各授課專家之講稿，特彙集編印成「綠色油田在農業永續發展扮演的角色」專刊，不但可以讓從事農業經營之農民，獲得所需要的能源作物栽培知識，瞭解政府新農業政策，有利於加速綠色油田產業的推展；而且專刊的精闢內容，亦可作為政府推動永續農業施政的重要參考資料，茲值付梓，特為之序。

行政院農業委員會農業試驗所所長
中華永續農業協會理事長 **林俊義** 謹識
中華民國九十六年十二月

蔡 序

世界各國均積極發展替代能源的研發，其中，利用植物發展生質能源是未來的趨勢，如德國發展油菜籽油、巴西甘蔗酒精以及美國玉米酒精等。在因應國際農業產業多變的情勢下，必須積極擴展農業在「生產、生活、生態」等層面之多元功能，於是，政府在西元 2006 年開始推動「建立能源作物產銷體系計畫」，積極利用休耕農田種植能源作物，供應國產料源產製生質能源所需。因此，生質能源作物之積極推動成為農業施政重要的一環，更由於生質能源的發展兼具農業、生態及社會性，使得發展與生態能相容的生質能源乃成為永續農業的基礎。

農業永續經營與發展是人類生存最重要之依靠，而綠色農業更是扮演農業永續發展之關鍵角色。如何將生質能源產業及其環境與休閒教育活動互相結合成為一種新的活動型態，並改造成為貼近自然、體驗生活的活動，使其落實於實際生活中，是大家努力的目標。因此，未來在綠色農業之推展上，將持續進行適合國內生質能源作物之種類與品種之篩選、能源作物經濟效益分析並提升產業界效能之研究，以及如何積極開發農業廢棄物產製生質酒精技術，俾能以循序漸進方式，逐步擴大使用國產生質能源，而達到農作物全株利用的目標。

中華永續農業協會為了推展農業永續經營之一貫理念，在行政院農業委員會農糧署經費補助下，特別與行政院農業委員會農業試驗所共同舉辦「綠色油田在農業永續發展扮演的角色」研討會，邀請相關負責農業政策之政府官員、學有專精之大學教授與具有實務經驗之專家，講授國內外生質能源策略與推廣、能源作物對農業生態之影響、不同種類能源作物及其副產物之開發與栽培、產出不同種類生質能源之創新技術與方法等，以提昇農政及農業從業人員與農友之相關知識與觀念。並特別編印「綠色油田在農業永續發展扮演的角色」專刊，俾以嘉惠從事相關產業之農民與業者，以加速綠色農業之推展與實現，茲值付梓，特為之序。

中華永續農業協會秘書長 **蔡武雄** 謹識

中華民國九十六年十二月

我國綠色油田之政策

黃有才

行政院農業委員會農糧署

前　言

21 世紀人類面臨三大問題，分別為能源、水資源及農業問題。根據 2006 年聯合國氣象變遷會議預測，溫室效應將使上述問題更為嚴重。2005 年 2 月 16 日京都議定書生效，要求以二氧化碳為主的 6 種溫室氣體的排放量應減量，因此世界各國均大力發展再生能源；包括太陽能、風力發電及生質能源發展等。植物 (或作物) 能直接利用太陽能、水分及轉化為能量，在整個自然生態系統中，對 CO_2 的產生和消耗的過程可視為一個完整的封閉系統，因此，能源作物的推廣使用，能夠改善日益惡化的環境。由於生質能具有無 (或低) 污染及無 (或低) CO_2 淨排放量等特點，更重要的是具備本土性及可永續供應的性質，故未來積極發展本土化的再生能源則極具重要性。目前德國發展油菜籽油、巴西發展甘蔗酒精及美國發展玉米酒精等。國內在發展生質能源方面，農委會配合國家能源政策，推動「建立能源作物產銷體系」計畫，以提高休耕農地利用率及帶動農業週邊產業，解決農村就業問題，並具有能源自主及環境保護等綜合效果，更成為新的農業發展契機，有利於整體環境的改善。本文針對我國生質能源發展策略提出拙見，提供產官學共同研討。

國外發展生質能源推動經驗

審視世界各國發展生質能源，其政策目標各有不同。歐盟係以生態環境議題為主、美國係以國家能源安全為主、巴西係考量農民及產業發展為主，各國在不同的政策目標下，形成不同的農業政策及配套工具，如強制添加、價格獎勵及財稅優惠等。例如，歐盟規劃 2020 年生質能源佔總使用燃料的 20%、瑞典 2020 年停止使用石化燃料、美國實施 Twenty in Ten 計畫(即 10 年內減少 20% 汽油消耗量) 及 2006 年巴西甘蔗種植面積達 600 萬公頃並有 320 座酒精工廠。

一、生質柴油推動情形

2004 年全世界生質柴油年產量已超過 278 萬公秉以上，其中歐洲占 80% 以上。依歐洲委員會 2003/30/EC 指令，規定傳統柴油添加 5% （B5）生質柴油，至 2004 年生質柴油消費量達 189.8 萬公秉，占柴油消費市場的

1.7 %。德國全國共有 1,900 座添加生質柴油加油站。德國油籽行業協會 (UFOP) 指出，德國政府為鼓勵產製生質柴油，提供農民適當經濟補貼，並對油品端實施減免稅收等政策仍將持續。2005 年油菜籽播種面積為 132 萬公頃，產量為 505 萬公噸；2006 年油菜籽播種面積為 140 萬公頃，增幅達 5.8%。法國以油菜籽油為主，2004 年產量 55.7 萬公秉；2008 年目標為 162.5 萬公秉。奧地利以油菜籽油、廢食用油為主，2004 年產量 9.7 萬公秉，生質燃料使用比率為 2.5%。美國以大豆油、廢食用油為主 2004 年產量約 32.3 萬公秉，全國共 400 座加油站供應。加拿大以低芥酸油、菜籽油為主，2004 年產量為 0.7 萬公秉； 2010 年目標為 56.8 萬公秉。

二、生質酒精推動情形

生質酒精方面，以目前產製量居前的巴西及美國為例，1975 年，巴西燃料供應約 90% 依靠進口石油，政府決定推動實施全國乙醇計畫，以替代進口之石油。政府提供甘蔗種植之補貼，在人口 1,500 人以上的城鎮加油站強制安裝乙醇加油泵。至 1980 年代初，巴西銷售的車輛幾乎都使用乙醇燃料。目前巴西實行 E22～25 及 E100，2005 年，巴西酒精產量 1,680 萬公秉，其中 1,430 萬公秉供應所需 (占燃料市場的 85%) 及 250 萬公秉外銷 (占 15%)。甘蔗種植面積為 590 萬公頃，產量達 4.4 億公噸，較上一年增幅 5.1%。

美國於 1978 年的聯邦「能源稅收法案」鼓勵酒精汽油的使用，免除 4 美分每加侖的消費稅。2004 年以玉米為原料生產生質酒精約達 1,014 萬公秉、2005 年產量 1,478 萬公秉，至 2006 年約產製 3,520 萬公秉酒精，約消耗了美國國內玉米產量的 27%。美國實行 E10 及 E85，在明尼蘇達、伊利諾、愛荷華及堪薩斯等州其公務車需強制添加，並包含夏威夷州等 37 州強制實行生質酒精添加制度。中國實行 E10，以玉米為原料，2005 年產量 116.5 萬公秉。

歐盟實行 E5，以甜菜、小麥為原料，2005 年產量 91.34 萬公秉，包括瑞典、法國、德國、西班牙等國皆為施行國家。泰國實行 E10，以糖蜜、木薯為原料，2005 年產量 42.16 萬公秉，主要以曼谷市為實行城市。瑞典實行 E5 及 E85，以穀物及廢木材為原料，2005 年產量 13.02 萬公秉。加拿大實行 E10 及 E85，以玉米為原料，2005 年產量 23.09 萬公秉，於 Manitoba、Ontario、Saskatchewan 等 3 省強制添加，及其他 6 省供應酒精汽油。日本實行 E3，以甘蔗、廢木材為原料，日本立法允許添加 3%，每年需進口酒精 180 萬公秉。

美國總統布希 2007 年國情咨文提及，2017 年可再生燃料和替代燃料必須為現行 5 倍 (達 350 億加侖)，並減少 75% 從中東進口石油的目標；實施

「10 年減 20」 (Twenty in Ten) 計畫，即 10 年內，將透過強制使用生質酒精和其他替代能源，達成減少汽油消耗量 20%。此外，將繼續開發農業廢棄物等產製纖維素酒精技術。2007 年 3 月 8 日美國總統布希與巴西總統魯拉在聖保羅會談農業能源合作事宜，即探討美國和巴西合作生產乙醇的原型計畫之可行性，且也對將燃料酒精變成在股市交易的期貨計畫感興趣。

三、國外推動生質能源之政策工具

巴西初期實施甘蔗保價收購、酒精訂價及強制添加措施，目前酒精市場業已自由化；美國則提供貸款及週轉金，補貼料源採購成本，貨物稅扣抵 0.51 美元/加侖，課徵進口稅 0.54 美元/加侖；歐盟 E5 減免 5% 能源稅，100％ 生質燃料豁免能源稅。

我國農業部門發展能源作物之契機

基於農業部門發展生質能源之新契機面向，提供下列意見：

一、生態環境：全球暖化問題：根據聯合國「跨政府氣候變遷專門委員會」（IPCC）指出，全球二氧化碳濃度已由工業革命前的 280 ppmv，增加至現今的 380 ppmv。【ppmv (parts per million by volume)：體積百萬分比 】。國內學者研究分析，目前臺灣二氧化碳占全球排放量 1%，居第 22 位。估算臺灣二氧化碳人均年排放量超過 12 公噸，是世界第三，為全球平均值的 3 倍；而臺灣氣候暖化速率約是全球平均值的 2 倍，從 1901 年到 2000 年上升了 1.1 度。

二、國家能源安全：臺灣化石能源 98% 依賴進口，為維持國內經濟及產業發展，應朝向調整產業結構、提昇能源的效率、或節約能源、積極推廣具環保永續概念能源體系及利用再生能源等，所能得到的結果，都可有效率地減少 CO_2 排放量。雖然臺灣不是京都議定書簽署國，但是我們必須訂定具體的減碳時程，積極推動全民減碳運動，以避免因減碳不力而受到國際經濟抵制或制裁。

三、休耕面積：95 年全國輪作休耕面積達 22 萬公頃，休耕給付 98.6 億；輪作獎勵 9.6 億，合計 108.2 億元，如何積極提高休耕地利用率，是目前研討的重要課題。

四、農地利用新思維：如何在糧食供應無虞之情形下，將農地轉為供應能源，並探討碳排放交易及農業永續發展，是我國發展生質能源亟需探究的問題。

五、創造永續農業新契機：能源作物為 CO_2 減量供應者，重大投資案為 CO_2 減量需求者，在發展工業上如何利用「碳交易平臺」找出與農業之間的平衡點。

我國發展生質能源之農業政策

一、農業能源政策之重要性

（一）提高休耕農地利用率及帶動農業週邊產業。

（二）可解決庫存陳糧轉化為能源利用途徑， 形成一個長期穩定供應的糧食—能源消費市場， 有助於增加農民收入。

（三）可解決農村就業問題，成為新的經濟成長機會。

（四）有利於整體農耕環境的改善。

（五）增進國際生質能源合作機會，拓展國際合作。

二、推動依據

行政院第 2992 及 3010 次會議決議事項如下：

（一）有效引導休耕農田轉種能源作物，以兼顧產業、能源、環保與農村經濟發展。

（二）料源以國內生產為主並建立自主性產製技術。

（三）能源作物之產銷配套由農委會妥適規劃，應注意補助措施造成財政長期負擔。

三、推動目標

（一）生質柴油：2006 年推行環保車試行及綠色公車計畫，2007 年計畫產製生質柴油 6,500 公秉應用於經濟部「Green County」計畫，2008~2009 年全面推行 B1（含 1% 之生質柴油），並開放自由市場，2010 年全面推行 B2。

（二）生質酒精：2007~2008 年需約 770 公秉，供應經濟部推行「綠色公務車」計畫，以國內料源優先使用，不足則由進口供應，2009 年預計產製 12,000 公秉，供應都會區 E3 使用，並以國內料源優先，不足由進口供應，2011 年達 100,000 公秉，全面推行 E3，並開放自由市場進口。

四、農業能源政策制訂與發展方向

生質能源限以液態燃料而言，包括生質柴油及生質酒精。生質柴油部份，由於國內生產成本每公升約 50 元與國外相較，生產成本高，不具競爭力。未來，農委會仍持續配合國家能源政策，協助生質柴油廠商與農會利用休耕農地，集團契作種植能源作物。生質酒精部分，國內產製生質酒精成本，因未有實際酒精廠可供評估，目前農委會針對具發展潛力之生質酒精作物以國際價格每公升 20～24 元作為生產成本指標，積極進行作物篩選及經濟效

益分析。未來，農委會將視國家能源政策，並視酒精工廠設立後料源需求，擬定利用符合「水旱田利用調整後續計畫」基期年規定之國內休耕農地種植能源作物計畫，推廣農民種植。國內生質能源中長期規劃，將朝利用植物纖維(如稻稈或其他纖維作物)提煉生質酒精為研發重點。

五、與農業能源政策相關之配套措施

（一）規劃具長期、願景之能源政策，並確立我國農業長期穩定之市場、創造農村就業與活化農村經濟，讓我國能源供應朝多元化邁進。

（二）儘速宣示推動決心，初期提供市場誘因機制，以建立國內生質能源消費市場及產業。

（三）建立能源作物生產補助、資金融貸、稅賦優惠或抵減等機制扶植產業發展，並待於市場具競爭力後，政策工具再逐漸退場。

（四）我國生質能源政策配套模式，可依下列加以考量：

1.農民配合部分，運用休耕補貼，鼓勵休耕地轉植能源作物。並由農會居間協調，配合代耕業者推動集團及省工栽培。

2.在生質能工廠部分，提供資本投資獎勵專案，鼓勵民間業者參與投資及提供租稅優惠措施，鼓勵民間或農企業參與建置酒精廠，並建立收購國產料源契作產銷合作機制。

3.油品業者方面，針對進口酒精復徵石油管理基金，扶植初期國內自產酒精產業。

4.研討免徵貨物稅及免徵空污費等優惠措施。

5.推動生質能源工作，包括生產、煉製、配銷與使用，需跨部會合作及共同推動配套措施。

結　語

發展生質能源是未來的選項，亦是農業發展契機。我國推動生質能源應提出各階段發展願景，且政策目標應實際可行及研擬配套措施。農業發展除了糧食供應，亦可朝能源供應方向規劃，而種植能源作物更具有創造生態效益、環境景觀及減低二氧化碳排放量功能，所創造的整體利益絕非單純的經濟效益所能衡量。選擇適合我國發展之料源，結合稻田耕作制度調整，引進農企業大規模種植與經營，將可提高國產生質能源之競爭力。總體而言，生質能源產業將提供農業、能源及環保等多重政策目標同時多贏之機會，值得政府部門妥善配置資源，規劃長期發展方向。

國內外生質酒精發展策略與推廣現況

左峻德、蘇美惠

臺灣經濟研究院

前　言

隨著氣候變遷議題受到國際間重視，以及國際原油價格持續走揚，發展替代能源及再生能源已成為各國頒佈能源新政策之重要內涵，其中可以同時兼顧能源供應、農業發展、及環保效益的生質燃料，已被各國列入車用替代燃料之重要選項。以著眼於國家能源供應安全的美國為例，2007 年 1 月布希總統宣佈在未來 10 年內，將減少汽油消耗量 20%，而由生質酒精和其他替代燃料取代。以環保為訴求之歐盟 27 國也於 2007 年 3 月宣佈在 2020 年之前，總能源使用量中之 20% 必須為再生能源，其中運輸系統燃料至少 10% 為生質能源；瑞典政府更宣布 2020 年要停止使用化石燃料。至於以農民收益為政策目標之巴西，從 1970 年代開始推動國家酒精計畫，為全球唯一不販售純汽油國家，運用酒精工業創造農業就業。

反觀我國農村逐漸凋零，雖擁有可耕地面積約 85 萬公頃，但種稻面積從 1998 年 37 萬公頃，逐漸縮減至 2006 年 26 萬公頃，休耕面積卻從 7 萬公頃擴增至 22 萬公頃，每年花費政府 100 億元以上之預算補貼休耕；農村老化日益嚴重，務農人數從 1997 年的 88 萬人，銳減為 2005 年 56 萬人，尤以青壯年流失最嚴重， 65 歲以上的老農人數逐年增加 (94 年農業統計年報)。此外，在能源議題部分，98% 能源仰賴進口，暴露極高能源安全及能源自主風險。在環境議題方面，我國二氧化碳排放量為世界第 22 位，人均排放量為 12 公噸為全球的三倍，全球排名 21；我國雖非京都議定書的簽約國，不過可能因而產生貿易扭曲的環保措施，難保不會成為我國未來出口障礙之風險。

生質能源之開發具有農業發展、能源自主、環境保護與經濟成長等綜效。在農業產值目前僅佔國內生產毛額 (GDP) 2% 以下，開發生質能源可以提供農業發展之新契機；另一方面，在國際油、氣市場供應日益吃緊之情況下，開發自有能源實具意義；而能源作物在生長過程中可以吸收二氧化碳等溫室氣體，對於環境之改善顯有助益。此外，生質能源產業一旦達到規模經濟之後，對於就業效果，所得效果和產出效果將有鉅大之助益 (左峻德等，2006(b))。因此，我國無論從能源、環境和經濟等層面考量，生質能源應是值得大力推動之項目。生質能源之發展包括生產端之作物選擇、栽種、收獲，製造端之煉製、配送，和市場端之車輛使用與消費者反應等。由於我

國並沒有這方面之經驗，因此本文首先將提出國外生質能源施行之經驗，再考慮我國國情研擬推動策略，最後提出結論與建議。

國外發展生質燃料之經驗

在各國競相提出生質燃料之發展目標後，使得生質燃料之市場動能急遽升高，已漸有與石油相抗衡之趨勢。以生質酒精為例，根據 RFA 網站統計資料顯示，2006 年全球生質酒精產量約 5,106 萬公秉，較 2005 年成長 11%，其中美國利用玉米產製酒精達 1,838 萬公秉，超越巴西成為全球最大生質酒精生產國，截至 2007 年 6 月止已有 119 家酒精工廠商業化運轉，尚有 86 家工廠興建中，預計可再提供 63.8 億加侖。巴西之產量亦達到 1,700 萬公秉，佔該國車輛用油市場的 25%。其他國家如中國 (385 萬公秉)、印度 (190 萬公秉)、歐盟 (270 萬公秉)、泰國 (35 萬公秉)，產量皆有日益增加現象 (Biefuels Barometer，2006；RFA 2007)。綜合而言，無論是已開發國家、或者是開發中國家，只要自然條件允許，都有開發生質能源之規劃 (詳見表一)。

表一、2006 年各國生質酒精推動現況

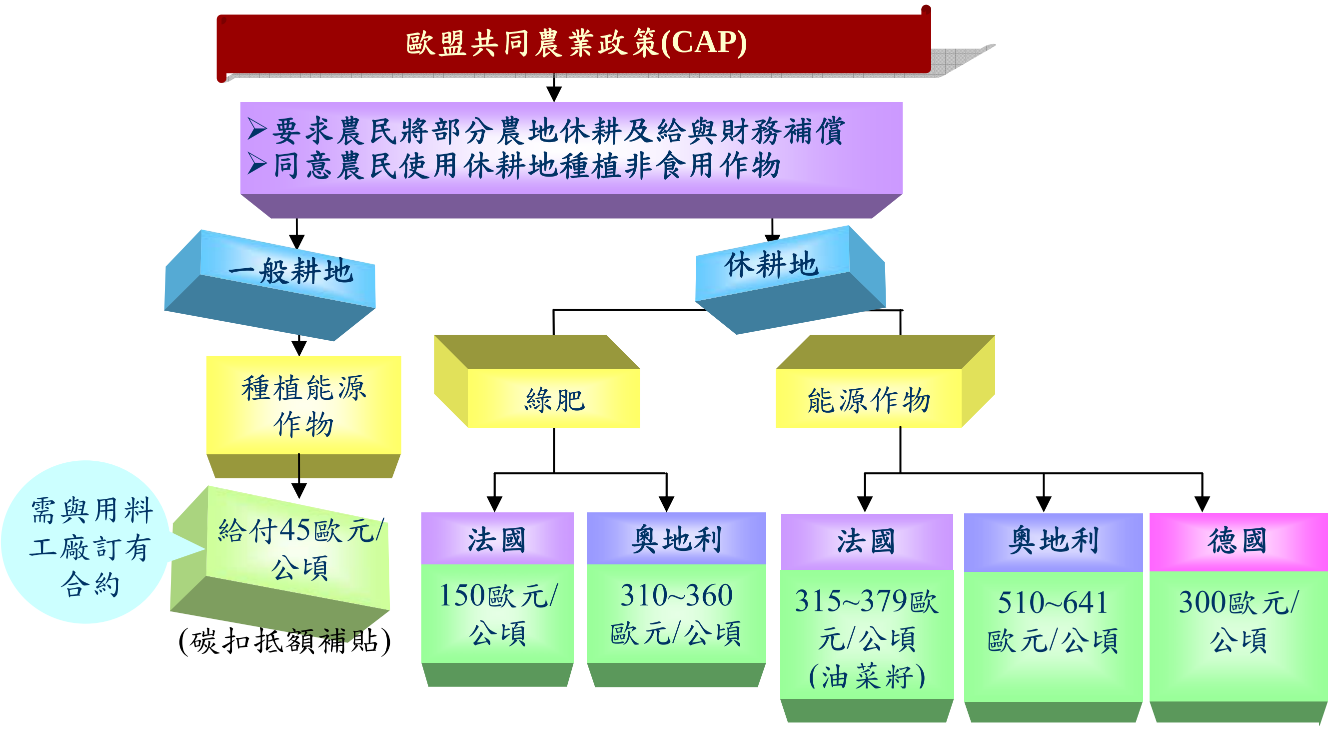
國家	酒精添加比例	主要料源	產量(公秉)	推動現況
巴西	E20-25 , E100	甘蔗	1,700 萬	全國汽油強制添加 20-25%；並推動酒精汽車及 FFV
美國	E10,E85	玉米	1,838 萬	明尼蘇達、伊利諾、愛荷華等 37 州
加拿大	E10,E85	玉米	58 萬	Manitoba, Ontario, Saskatchewan 等 3 省強制添加，共 6 省供應酒精汽油
瑞典	E5, E85	穀物、廢木材	11 萬	Stockholm, Malmö, Gothenburg 等市
中國	E10	玉米	385 萬	吉林、黑龍江、遼寧、河南、安徽等 5 省全境及河北省 6 市、湖北省 9 市、蘇江省 5 市、山東省 7 市
澳洲	E10	甘蔗、甜高粱、穀物	15 萬	昆士蘭省、新南威爾斯省、維多利亞省
泰國	E10	糖蜜、木薯	35 萬	由曼谷市開始推廣，2007 年起全國 95 汽油全面添加 E10
歐盟	E5	甜菜、小麥	270 萬	瑞典、法國、德國、西班牙等國
印度	E5	甘蔗	190 萬	10 省、3 聯盟地區
日本 (規劃中)	E3	甘蔗、廢木材		立法允許添加 3%，因自產料源不足，每年需進口酒精 180 萬公秉；2012 年後新車均需適用 E10

(資料來源：Biofuels Barometer, 2006；RFA, 2007；本研究整理)

參考國際上推動生質燃料經驗，最主要皆透過立法訂定添加比例及推動期程，例如，歐盟 (2003/30/EC) 明訂運輸部門 2010 年前需使用 5.75%以上之生質燃料，2020 年生質燃料需佔總使用燃料 20% (Lieberz，2004)。此外，由於生質能源之生產成本相對於汽、柴油仍然偏高，因此各國皆採取相當優惠之政策補貼，以協助此項新興產業之成長。例如歐盟運用共同農業政策 (CAP) 對於休耕地及非休耕地種植能源作物給予不同程度之補助 (Van Walwijk, 2005；Francis, 2006；Anderson, 2006)，詳如圖一；同時生質燃料依混摻比例減免能源稅，並且運用關稅保護自產酒精，2004-2005 年變性酒精進口關稅稅率平均約 39% (0.102 歐元/公升)，未變性酒精部分則高達 63% (0.192 歐元/公升) (Marcos 等, 2007) ；此外，為提供價格誘因也運用減免酒精貨物稅來鼓勵消費者使用。

美國對於生質酒精產業發展之支持也是不遺餘力，不僅聯邦政府頒佈農業生質能源計畫，補貼生產生質燃料，也訂定高達 46% 關稅政策保護農民收益，燃料酒精進口關稅每加侖課徵 0.54 美元，再外加 2.5% 從價稅 (Marcos 等, 2007)，而且各個地方政府 (23 州政府) 更是分別對生產者與使用者提供各項加碼補助 (Wegener, R., 2006；左峻德 2007)，使得生質能源產業蓬勃發展，預訂在 10 年之內將增加 5 倍產值。

從歐、美先進國家實施各項鼓勵生質能源政策觀之，生質能源產業從種植作物開始，即提供能源作物補貼，也對料源採購提供獎勵以降低產品變動成本；在酒精工廠方面，則提供資金補助、減免貨物稅和營業稅；對於進口酒精則實施高關稅。當酒精汽油進入市場，則對化石燃料課徵高比例的生態稅或能源稅，酒精部分則免徵；對於加油站業者增加輸儲設備則提供施工補助，此外，並強制聯邦車隊及生產業者必須使用酒精汽油 (左峻德等，2006(c))。綜合而言，各國體認到生質能源對於國家能源自主，農業發展和環境保護之重要性，皆不惜鉅資投入在各項優惠政策上，期望能達到減少對化石能源依賴，並增加環境與經濟之綜效。



(資料來源：蘇美惠，2006)

圖一、歐盟發展能源作物之獎勵政策

生質酒精之生產成本

在生產成本部分，巴西甘蔗酒精約 0.219 美元/公升 (新臺幣兌美元匯率以 33 計算，約新臺幣 7.23 元/公升)，其中料源成本約 0.129 美元/公升 (約新臺幣 4.26 元/公升)；美國玉米酒精約 0.289 美元/公升 (約新臺幣 9.54 元/公升)，其中料源成本約 0.193 美元/公升 (約新臺幣 6.37 元/公升)；歐盟地區以小麥及甜菜為料源，甜菜酒精約 0.56 美元/公升，其中料源成本約 0.301 美元/公升，小麥酒精約 0.573 美元/公升，其中料源成本約 0.354 美元/公升；泰國則是以木薯作為料源，酒精成本為 0.525 美元/公升，其中料源成本約 0.343 美元/公升，詳如表二所示。巴西甘蔗酒精成本為全球最具競爭力者，然而，巴西已有 30 年發展經驗，成本節省之學習效果已發揮至極致，其他國家也難與其競爭。綜合而言，各國料源成本約佔生產成本之 55%~70%。

表二、重要酒精生產國之生產成本　　　　　　　　　　　　　　單位：美元/公升

國家	料源	料源成本	酒精成本
巴西[a]	甘蔗	0.129	0.219
美國[a]	玉米	0.193	0.289
歐盟[a]	甜菜	0.301	0.560
	小麥	0.354	0.573
泰國[b]	木薯	0.343	0.525

註：1.巴西、美國、歐盟為 2004 年數據；泰國為 2005 年數據

2.美金對泰銖匯率以 1:35 計算

(資料來源：a.OECD, 2006；b.Thu Lan Thi Nguyen 等, 2007 本研究整理)

我國農業在過去已有栽種甘蔗、甘藷及玉米之經驗，甜高粱目前也有試種計畫，這些作物皆是國際上常見之酒精能源作物，以我國之氣候、土地條件，應該可以找到一項或是一組最適合，而且成本最低的作物。從表二國外酒精汽油生產成本經驗觀之，作物成本往往佔總生產成本 55% 以上，假設酒精工廠之煉製技術引自國外最新技術，那麼煉製成本應與國際同級，於是作物成本即成為國產生質酒精是否具國際競爭力之關鍵所在。根據最近國內就能源作物生產成本所做之分析，自產玉米生產成本每公升約為新臺幣 14.86 元、甘藷約 17.26 元、甘蔗 13.57 元，甜高粱推估每公升約 13.64 元，詳如表三。其中甜高粱部分國內包含農試所及臺糖公司皆在初期試種階段，相關資料為參考印度實作數據。

表三、國產能源作物生產成本分析

每年	作物產量 (公噸/公頃)	轉化率 (公升/公噸)	土地產量 (公秉/公頃)	單位面積生產成本 (元/公頃/期)	體積容量生產成本 (元/公升)
玉米[a]	10~14	420	4.20~5.90	43,500	14.86
甘藷[a]	70~80	125	8.80~10.00	65,000	17.26
甘蔗[b]	100	70	7.00	95,000	13.57
甜高粱[b]	90	55	4.95	33,750	13.64

註：甘蔗為四年三穫，以上數據為每期收穫之平均數據；其他作物為一年二期收穫

(資料來源：a.左峻德、蘇美惠，2007；b.臺灣糖業股份有限公司，2007.08)

此成本結構比起國際市場行情顯然偏高，分析我國作物生產成本偏高的

原因，除了缺乏大規模實施經驗外，農場規模未達經濟有效也應是主因之一，由於平均每戶農地僅達 0.5 公頃，使得機械化操作難以進行，人工成本更是居高不下，短期內作物成本甚難有大幅降低之可能性。然而，各國皆是著眼在本國市場，還未有大規模的國際市場行銷規劃，故規劃自產生質酒精仍成為國際趨勢。

為尋求自產酒精成本降低空間，在料源成本部分可透過運用休耕補貼預算給予支持，及料源副產品開發與利用提升附加價值。農委會目前每年補助水旱田休耕農戶每公頃每期新臺幣 45,000 元，若將目前給與休耕補貼之預算，用來做為農民轉作能源作物之誘因，則將可使國產料源在推動初期具備一定的競爭力。2007 年農委會擬對種植能源作物與一般休耕綠肥提供不同給付標準，種植能源作物給予每公頃每期新臺幣 45,000 元，至於休耕綠肥則擬由每公頃每期新臺幣 45,000 元降至 40,000 元。

在此一政策規劃前提下，休耕綠肥農民每期扣除成本後淨收益約 33,000 元/公頃，假設一年兩期皆進行休耕則年收益為 66,000 元/公頃；因此，投入能源作物種植之淨收益需高於此一收益，否則農民將無投入之經濟性誘因。另一方面，投入能源作物種植之淨收益需低於種植水稻之淨收益每期約 55,000 元/公頃(含自家工資)，否則易於影響水稻之供需。若以此一收益條件為前提，則可推估出料源收購價格及自產酒精成本區間。本研究假設農民種植能源作物具備誘因之每年最低淨收益為 75000 元/公頃 (不含自家工資)，最高淨收益則以 11,000 元/公頃 (不含自家工資) 為上限，則可推估能源作物之收購價格、無水酒精出廠價、及農民收益變化。

此外，由於所有政策工具皆應有退場機制，故除了考量農民收益外，自產酒精亦需與進口酒精成本相較具備一定競爭力，如此推動此項政策，才不會造成政府長期財政負擔。參考巴西 Santos 港 2007 年 1 至 8 月離岸(FOB) 無水酒精報價高低點介於 US$400/噸~US$550/噸 (ICIS Pricing, 2007) ，考量海運、保險、及關稅 (以 20 %計算) 等進口成本後，假設進口商利潤為 10%，則進口生質酒精成本約為 18.82~24.42 元/公升，因此自產酒精成本應以低於 24 元/公升為初期努力目標。

由於國內目前在可行的能源作物部分，除了甘蔗外並無大規模推廣成本記錄及交易數據，且尚無燃料酒精量產工廠，因此，相關成本分析數據，都尚處於推估階段，有關料源生產成本詳列於表三，糖質及澱粉酒精之操作及固定成本詳如表四所示。綜合考量農民收益及自產無水酒精成本變化詳如表五所示，從表五中可以發現，目前甘藷酒精成本過高競爭力最弱，即使將農民收益降至最低以 1.65 元/公斤進行收購，每公升仍高達 28.39 元/公升；玉

米酒精為使出廠價接近進口酒精 24 元/公升，收購價格應低於 6.5 元/公斤。甘蔗在料源成本收購價 0.8 元/公斤下，酒精出廠價可達到 19.11 元/公升，即使以 1.1 元/公斤收購，酒精出廠價為 23.82 元/公升，與進口酒精相較亦具備一定競爭力；甜高梁部分收購價 0.59 元/公斤下，酒精出廠價可達到 18.34 元/公升，若以 0.88 元/公斤收購，酒精出廠價為 24.13 元/公升，且農民收益皆可落入具備經濟誘因之區間。以目前的成本數據來分析，甘蔗和甜高粱為最具發展競爭力之料源，其中甘蔗國內又具備大面積栽作經驗，應值得在進行深入研究。

表四、自產無水酒精操作及固定成本

項目	玉米	甘藷	甘蔗	甜高粱
操作成本	6.01	8.26	2.45	2.45
固定成本	2.35	2.35	3.49	3.49

註：1.以年產能 10 萬公秉無水酒精工廠規模推估

2.澱粉酒精國內製程成本係參考臺肥公司提供數據，糖質酒精參考臺糖公司數據

3.玉米副產品 (DDGS) 價值計算為料源成本減項；甘藷酒精尚未考量副產品價值，甘蔗及甜高粱殘渣發電收益已於操作成本中扣除

(資料來源：左峻德等，2006(b)；臺灣糖業股份有限公司，2007 年 8 月)

表五、自產酒精出廠價與農民收益變化

	甘藷	玉米	甘蔗	甜高粱
收購價(元/公斤)	1.65	6.0~6.5	0.8~1.1	0.59~0.88
料源成本(元/公升)	13.20	11.43~12.38	11.43~15.71	10.73~16.00
無水酒精出廠價(元/公升)	28.39	23.13~24.18	19.11~23.82	18.34~24.13
農民淨收益(仟元/年)	75	75.5~81	75~105	75.6~101.7

註：1.收購價格為本研究設定農民收益介於 75,000~11,000 元/公頃區間，及自產酒精不高於進口酒精成本 24 元/公升下所做之假設

2.本研究假設酒精工廠利潤為 10%，無水酒精出廠價已隱含酒精工廠利潤 10%

3.農民收益包含能源作物補助 90000 元/公頃/年，及出售作物之淨收益

(資料來源：本研究推估整理)

我國生質酒精推動策略建議

政府如果順應世界潮流，擬訂長期生質能源產業發展政策，跟隨歐盟國家以2020年之前達到運輸部門燃料10% 以上使用生質燃料，或是美國2017年達到 20% 以上使用生質燃料，則生質能源市場目標即可確定，農業部門方能據以規劃大規模農場，也才有降低生產成本可能性。首先，在考量不適用酒精汽油車輛汰換週期及適用 E10 新車開發時間，建議政府可以「Twenty E10」為發展願景，宣佈2025年開始強制使用含10% 之酒精汽油 (即E10)；據此，每年約需100萬公秉之酒精，考量我國現有農地扣除因糧食安全所保留用途之外，應有多餘農地釋放，並與現有 22 萬公頃休耕地搭配，採用農企業耕作方式，將農地所有權與使用權分開處理，組成大規模農場採用機械化操作方式，這才有機會降低作物之生產成本。另一方面，車輛業者方能投入適用 E10 或更高比例酒精汽油之車輛開發，並且不適用酒精汽油車輛方能有汰換之落日期限，消費市場才能逐步建立。

當生質能源產業長期發展政策確立之後，相關配套措施即可參考歐、美國家之作法，首先調整現行休耕補助辦法，鼓勵休耕地與一般農地結合，組成規模經濟農場種植能源作物；並給予由自產能源作物提煉之酒精免徵貨物稅與空污費，未來如果開徵能源稅，酒精汽油將隨著酒精含量依比例減免。並應鼓勵優先使用國產料源，輔導自產酒精逐步建立產銷體系及競爭力，在未能充分運用 22 萬公頃休耕地生產國產酒精 (約有 100 萬公秉供應量) 前，不宜開放進口；此外，酒精工廠應給予投資抵減與租稅獎勵，未來若開放進口酒精，關稅應比照目前工業酒精關稅課徵 20% 以上，並且比照進口石油課徵石油管理基金。此外，由於相關配套措施牽涉到農委會、經濟部、財政部與環保署之業務，建議比照巴西之「酒精與糖委員會」，成立「生質能源推動委員會」，由農委會主委擔任召集人，成員包括經濟部、財政部與環保署，共同擬定我國生質能源長期發展政策，以收事、權統一管理之效。

結論與建議

農業發展除了糧食供應，亦可朝能源供應方向規劃。生質能源產業發展具有能源自主，農業發展、環境保護和經濟成長等綜效。然而，生質能源發展政策需有長期發展願景，政策規劃應以活化農村經濟為首要考量，同時兼顧能源、經濟、環境永續發展。農業部門應先盡力追求料源成本之合理性與最小化，輔以為達規模經濟而採行之各項補助與輔導措施。國內運用大豆能源作物生產生質柴油成本高達49元/公升以上 (左峻德等，2006(a))，不具備經濟效益，故生質柴油應以廢食用油作為料源，休耕地應充分利用於生產生

質酒精。

生質酒精的技術發展與日增進，從傳統澱粉與糖質作物轉化成生質能源之技術，逐漸提升至以纖維素轉化成生質能源之技術，將可使能源作物因而將擺脫與人類爭食之爭議，而將農業部門轉化成糧食與能源並重之產業，這種發展趨勢已漸成國際共識，值得我國參考。同時為加強事、權統一管理，建議成立「生質能源推動委員會」，由農委會擔任召集單位，協調相關部會擬訂料源補貼，酒精工廠獎勵，保護國產酒精銷售，強制油品業者販售酒精汽油，與鼓勵消費者使用等配套措施。

綜而言之，無論是已開發國家或是開發中國家，皆積極推動生質酒精，初期市場以內需為主，縱使生產成本缺乏國際競爭力，但各國政府仍強力補貼，希望在短期內快速達到規模經濟，以降低成本負擔。我國是一個能源短缺之國家，也面臨國際環保壓力，同時農業部門呈現長期衰退之局面。生質能源產業的出現，將提供農業，能源與環境等多重政策目標大幅改善之機會，實值得我國全力投入。

參考文獻

94 年農業統計年報，行政院農委會。

臺灣糖業股份有限公司，「臺糖公司生質燃料乙醇工廠投資計畫」簡報，2007 年 8 月。

左峻德、蘇美惠，我國發展生質酒精之可行政策措施，太陽能及新能源學刊第十二卷第一期，2007 年 6 月。

左峻德，我國發展生質能源產業之可行性，農業生技產業季刊，第九期，2007 年。

蘇美惠，我國發展生質酒精之可行性分析，臺經月刊，第三十卷第一期，2007 年 1 月。

左峻德、蘇美惠、楊純欣，發展能源作物內部經濟效益分析科技計畫，農委會農糧署委託，2006 年 12 月(a)。

左峻德、蘇美惠、朱浩，我國發展酒精汽油之推動策略探討，中華民國能源經濟學會 95 年年會學術研討會論文集，2006 年 11 月(b)。

左峻德、蘇美惠、楊純欣，「推動車輛使用酒精汽油替代燃料可行性策略分析及成本效益評估計畫」，行政院環境保護署委託，2006 年 9 月(c)。

Anderson, G., “Environmental impacts of producing biofuels in the EU”, BirdLife, EEB and T&E conference on a Sustainable Path for Biofuels in the EU, Brussels, 7 June 2006.

Biofuels Barometer, 2006. (http://www.ethanolrfa.org/industry/statistics)

Francis, M.K., “EU-25 Sugar: The Economics of Bioethanol Production in he EU 2006”, GAIN Report Number: E36081, USDA Foreign Agricultural Service, 17 May, 2006.

ICIS Pricing (Asia), 2007. (http://www.icis.com/Home/Default.aspx)

Lieberz,S.M.,” Oilseeds and Products Biofuels in Germany-Prospects and limitations 2004 ” Global Agriculture Information Network Report No.GM4048,USDA Foreign Agricultural Service, November 12, 2004.

Marcos J. Jank, G’ eraldine Kutas, Luiz Fernando do Amaral, Andre’ M. Nassar, “EU and U.S. Policies on Biofuels:Potential Impacts On Developing Countries”, 2007.

OECD, Working Party on Agricultural Policies and Markets － Agricultural Market Impacts of Future Growth in the Production of Biodiesel, AGR/CA/APM (2005) 24/FINAL, Directorate for Food, Agriculture and Fisheries Committee for Agriculture, 01-Feb-2006.

Renewable Fuels Association (RFA), 2007. (http://www.ethanolrfa.org/)

RFA, “Annual World Ethanol Production by Country”, Renewable Fuels Association, 2007.

Thu Lan Thi Nguyen, Shabbir H. Gheewala, Savitri Garivait, “Energy balance and GHG-abatement cost of cassava utilization for fuel ethanol in Thailand”, 16 May 2007.

Van Walwijk, M., “Biofuels in France - 1990 – 2005”, PREMIA report, September 2005.

Wegener, R, “Biodiesel-Fueling the Future Helping Support Oklahoma Agriculture:, Renewable Energy Conference-Harvesting Power From The Land, Clarion Convention Center 737 S. Meridian Oklahoma City , Oklahoma, January 31-February 1, 2006.”

能源作物之推廣對農業生態之影響

王裕文

國立臺灣大學農藝學系

能源作物的主要用途在提供透過光合作用固定在生質量內的太陽能，供人類利用。傳統的利用方式為以燃燒為主的形式取得能源，近代的科技可以透過酵素及觸媒系統轉換成目前文明社會習用的能源形式，如酒精、柴油等。

能源作物的種類包括醣類、澱粉及油料類作物以及近年新興的纖維類作物。糖料作物如甘蔗等，澱粉作物如玉米與甘薯等，油料作物如大豆等，都是傳統的短期作農藝作物，所利用的品種與耕作技術目前並未配合轉作能源用途而調整，農民依舊採行傳統的管理措施，使用必需的農業資材，包括肥料、農藥與灌溉操作，所造成的肥料流失，土壤劣化與環境污染的影響，證諸過去臺灣農業的發展歷程，如果依照目前的計畫利用休耕地種植能源作物，這些休耕土地勢將成為另一個的環境污染來源與受污染對象，也勢必將這些休耕地過去數年間因為休耕而略為回復的生機盡數消磨。

纖維類作物包括單多年生草本及多年生木本作物，如大型禾本科、豆科牧草及樹木等，樹木並不適合種植在農田，但是單年生/多年生大型禾本科/豆科牧草類作物其單位土地面積所能生產的生質量以臺灣常見的狼尾草為例，一年一公頃可生產約 50 公噸的乾物質，如果能夠透過纖維分解酵素獲取酒精，目前已有商業化應用的纖維分解酵素約可達 23% 的轉換率，50 公噸的乾草估計可以獲得 11,500 公升的酒精。

此外利用多年生牧草可以達到長年覆蓋，減少土壤流失，甚至可以攔截流失的土壤，增加土層厚度。此外再透過深入土壤的根系，將雨水導入土層，涵養水源，增加生態系水循環系統在農地的利用效率。表層的根系分解後可以增加土壤有機質，深層的根系因為缺乏擾動及微生物的活動造成緩慢或是不分解的現象，可以將根系內的碳固定在土壤中，成為一個"碳庫"將大氣中的二氧化碳固定於土壤中，減緩並改善地球的溫室效應，利用農地發揮積極的碳循環功能。結合豆科牧草進行禾豆科牧草混植，更可以發揮固氮的作用，增加土壤肥力，促進氮循環系統。種植多年生大型纖維性牧草作物是一個可以強化農地的能量循環、水循環、氮循環及碳循環的綜合性農業生態系經營管理措施。目前臺灣在這方面的研究仍在萌芽階段，實質的貢獻量與效益仍待研究資料補足。

近年興起的植物復育技術 (phyoremediation) 更可透過纖維能源作物不易導入人類食物鏈的特性，獲得發揮與應用，對於受污染的農地，透過耐重

金屬纖維型能源作物的栽培，經過能源取得的過程回收污染土地的汙染物，更是一舉數得的措施。

能源作物與休閒農業之發展

蘇宗振

行政院農業委員會農糧署

前　言

農業發展對一個國家的重要性，是舉世皆然。農業的發展除了政治、社會及經濟的重要基石外，更是攸關「人口」、「糧食」、「環境」、「能源」四大議題。故評估農業的價值，除了實際農產品及其衍生之附加價值外，如進一步考量二氧化碳減量等綠色國民帳，則農業之價值，更將超過其實際產值。

我國加入世界貿易組織後，農業與農產品市場面臨國際化及自由化的衝擊，但同時，也將給國內農業帶來新的發展機遇與契機。在面對國際農業政策環境和國際農業市場的挑戰，我國必須加快傳統農業朝向現代農業的轉變，走市場化、集約化和現代化農業的永續發展，除與國際農業市場接軌外，更能充分發揮本土農業競爭力。現代農業之範疇應由原來以生產為主軸，發展為兼顧生產、生活、生態之「三生農業」，其內涵包括傳統生產糧食的初級產業，生技與農產加工的二級產業，以及運銷、休閒、教育、文化體驗等服務性的三級產業。

農委會為解決現階段農業、農民及農村所遭遇問題，規劃推動「新農業運動—臺灣農業亮起來」，將跳脫傳統思維，改變農民、消費者與政府的觀念及作法。「新農業運動」將推動農業、農民、農村的政策整合、創新及改革，深化農業施政，並兼顧生產、生活、生態等面向，擴大農業施政視野，打造「全方位的農業」。

此外，於 2006 年開始推動「建立能源作物產銷體系計畫」，積極利用休耕農田種植能源作物，供應國產料源產製生質能源所需，其列於農委會五大施政及新農業運動項目之一。是故，生質能源之推動是為農業施政重要的一環，更由於生質能源的發展兼具農業、生態及社會性，一般國民可接受程度高。

現代休閒農業發展概念

近年，隨著全球農業的產業化發展，人們發現，農業不僅具有生產糧食功能，還具有改善生態環境品質，為全民提供觀光、休閒、渡假的生活功能。隨著消費習慣及收入的增加，消費者希望能接觸大自然，在農村環境中放鬆自己。於是，農業與旅遊業交叉的新型產業－休閒農業應運而生。一般而言，休閒農業係指利用田園景觀、自然生態及環境資源，結合農林漁牧生產、農

業經營活動、農村文化及農家生活，提供國民休閒，增進國民對農業及農村之體驗為目的之農業經營。休閒農業與傳統農業有極大的不同，傳統農業以建立在土地的栽培和生產為主，休閒農業則轉變農業成為一種具有多次販賣力的資源，其經濟效益將遠高於傳統農業。例如：法國農村的葡萄園和釀酒作坊很多是對外開放的，遊客不僅可以參觀和參與釀制葡萄酒，親身體驗釀酒的樂趣，而且可以在釀酒坊裏製作並帶走自己釀好的酒，其情趣與在城市商店裏買酒自然不同，這些葡萄園和釀酒作坊的旅遊收入往往高出他們的葡萄和葡萄酒的銷售收入。

休閒農業的經營，其產品不僅僅是農產品，而是向民眾提供田園風光，宜人環境和農耕文化，使休閒客願意多待一會兒，多消費一些，更希望多次往返增添新樂趣。「靠山吃山、靠水吃水」，休閒農業若沒有特色就沒有競爭力。故依靠當地自然環境、資源條件、農漁特產、構建不同特色的休閒農業，是發展休閒農業的關鍵。例如屏東結合民族風情，傳統文化和農漁特產，在不同季節開展不同特色旅遊，推行農業休閒觀光活動；在宜蘭將農業休閒、海上休閒和文化結合，舉辦節慶活動，使休閒和生活、產業相連結，更具活力。宜蘭的童玩節，花蓮的石雕節，屏東的黑鮪魚節、苗栗的木雕節都有一定的知名度。

然而，臺灣西部多平原的地區，要發展什麼樣的休閒農業？作者提出具「教育性質」的休閒農園將是一個選項，其兼顧農業生產、生態與科學教育功能的農業經營形態，即利用農園中所栽植的作物，飼養的動物以及配備的設施，如特色植物、熱帶植物、水耕設施栽培、傳統農具展示及 DIY 等，進行農業科技示範、生態農業示範，傳授消費者農業與環境保育等知識。此外，建構並提高供應鏈各環節的服務水準，落實「分段加值、分段行銷」概念，亦可帶動整體的優勢發展。

生質能源農場 (村) 之構想

作者提出生質能源農場仍是參考國外生質能源村 (Biomass Village) 的概念，以德國發展生質能源村為例，主要是兼顧地區性之生態永續性、經濟發展及社會的公平性，尤其是透過利用生質能源來提供熱能與電力，期對當地農業、生態及社會產生正面的效果。換言之，若依農業立場，可達活絡農村社區 (生態與經濟的一致化) 與增加農民的收入 (創造所得) (黃萬傳, 2006)。在臺灣，雖然未能達到上述經營型態，但結合休閒農業，亦為未來活化農村社區及提高農地利用的一項策略。在產業發展上尚需考慮下列面向與條件：

一、發展生質能源農場概念

（一）經營上具備農業產銷、農產加工及遊憩服務等三級產業於一體，亦有機會成為生質能源產業的一環,其更可發揮社區性 (或地區性) 教育及宣導功能，提高國民生態及永續概念。

（二）生質能源的發展應該不僅環保與生態的聲音，而是能落實於當地執行和管理。

（三）農場可發展永續性自主能源供應體系，在經濟及技術上應是可行。

（四）農場全部能源發展，包括可再生能源，應該考量個別的場所以及對生態的影響最小。

（五）考量生產的標準的因素，包括：1.對水質的影響。2.對土壤的影響。3.對野生動物的影響。4.對空氣品質的影響。5.足夠的收入。

二、評估我國發展生質能源農場之市場條件

（一）國民所得提高，故觀光農業發展最普及。

（二）城市環境惡化，國民尋求減壓解勞、自然清淨的農村生活。

（三）民眾知識水準提高，使追求知識的自然生態旅遊人口增多。

（四）鄉村道路改善，交通比以前便利。

（五）旅遊業急需擴張旅遊版圖到農業的範疇。

三、評估我國發展生質能源農場之農業支持條件

（一）因社會環境改變，農業結構急需調整，由一級產業跨入三級產業。

（二）農民追求經濟利益，經營觀光農業收益較多。

（三）農業科技進步，可提供觀賞體驗的內容更豐富。

（四）農村環境改善，可提供較優越的空間場所。

（五）政府政策支持，並提供休閒農業的輔導及人員訓練。

四、規劃場區耕作制度與展示

臺大蕭崑杉教授認為休閒農業的教育設計應具有達到提高民眾文化水準的功能。在教育內容設計而言，休閒農業活動若要產生教育效果，各種解說或教材，最好能借重權威的專家學者加以 推薦或製作，且教育主題應能產生系統性學習的效果。生質能源農場可包括：靜態展示、動手 DIY、場內農機具實體運用 (作) 及參與者親自感受等。此外，能源作物配合水稻期作進行種植，採用輪作方式，每年一期水稻、一期能源作物進行種植。充分合理地利用農地種植不同作物，可達以下目標：

（一）農業、能源和生態保育等三方面效益。

（二）增加外部效益價值、結合地方產業文化及休閒觀光活動。

（三）塑造農村景觀及帶動主題活動。

結　語

農業從簡單的農林漁牧產品，再到農產品加工產業化，每次變革都在拓展農業的新概念，為農業發展帶來更多的契機。新型休閒觀光農業發展模式，不僅可以增加農民的收入，而且還帶動了農業的新一輪創業，更有利於實現農業的永續性發展。有關專家認為，觀光農業應是利用農村設備與空間、農業生產場地、農業產品、農業經營活動、自然生態、農業自然環境、農村人文資源等，經過規劃設計，以發揮農業與農村休閒旅遊功能，增進民眾對農村與農業的體驗，提升旅遊品質，並可提高農民收益與促進農村發展。

未來，將生質能源產業及其環境和休閒教育活動相結合成為一種新的活動型態，塑造成一個親近自然、體驗自然的活動，並落實於實際生活中，共創「綠色能源」與「永續家園」，或許是大家可努力思考的方向與目標。

油脂作物品種開發與栽培

楊金興

行政院農業委員會農業試驗所

摘　要

我國將於 2008 年 7 月起全面實施 B1 柴油 (石化柴油添加 1% 生質柴油) 供應，每年約需 6 萬公噸生質柴油，估計需栽培大豆 12 萬公頃 (以產量 2,500 公斤/公頃，含油量 20% 估算)，2010 年全面實施 B2，每年約需 12 萬公秉。國內每年約有 24 萬公頃休耕農地，如能充分利用栽培油脂作物，將可足夠供應。

利用高油脂含量作物如大豆、向日葵、花生、油菜籽、痲瘋樹等等，其植物油經轉脂化反應 (transesterification) 可製成生質柴油，其燃燒特性和石化柴油相近，可以任意比率與石化柴油調和使用，燃燒更完全且不含硫，可有效改善柴油引擎的廢氣排放品質，為密閉型的碳循環 (Carbon cycle)，不會增加 CO2 含量，是一種結合再生能源與減低污染的能源，符合永續發展的技術。

目前生質柴油推廣以德國最成功，從 1992 年開始推廣，產量約 5,000 公噸，初期成長緩慢，在最近的十年，生質柴油產量增加約 50 倍，至 2006 年可達 200 萬公噸，約占世界 80%，主要作物為冬油菜，其推廣成功，主要因育種及栽培雜交種 F1，其產量可達 5,000 公斤/公頃，含油率可達 45%。其次為美國，以大豆油為主。

由世界農糧組織統計，2005 年世界主要油脂作物產量依序為大豆、棕櫚、油菜、棉籽、花生、向日葵等。2006 年美國農業部統計，世界主要植物油產量依序為棕櫚油、大豆油、油菜仔油、葵花油、花生油、棉籽油等，植物油價格 2004 年依序為棕櫚油、大豆油、油菜仔油、葵花油、棉籽油、花生油等。

大豆、向日葵、花生、油菜籽等作物，國內曾大面積栽培，如花生最高達 10 萬公頃，大豆為 6 萬公頃，這些作物國內各農業改良場所也育成許多優良品種推廣栽培，其栽培技術均無問題，但自加入 WTO 以後，近幾年只剩花生栽培面積約 2~3 萬公頃，其餘作物均作為綠肥，本文將討論這些作物在台灣栽培之情形及其優劣點，並探討開發新興油脂作物之可行性，供國內推動栽培之參考。

前　言

我國生質柴油推動目標 (經濟部 2006.10) 為：2008 年全面實施 B1 生質柴油需求量約 5~6 萬公秉，至 2010 年起將全面實施 B2 生質柴油，需求量約 10~12 萬公秉，生質柴油 5 萬公秉約需種植大豆約 10 萬公頃 (如種子產量 2,500 公斤/公頃，含油量約 20%)，向日葵需 6 萬公頃 (如產量 2,000 公斤/公頃，帶殼含油量約 40%) ，油菜約 6 萬公頃 (如種子產量 2,000 公斤/公頃，含油量約 40%) ，落花生約 4 萬公頃 (如莢果產量 3,000 公斤/公頃，帶殼含油量約 40%) ；目前農委會從 2006 年已開始鼓勵農民利用休耕農地 (約 22 萬公頃)種植大豆及向日葵，並與工廠訂定契約供生產生質柴油，由於剛開始啟動推廣生產，作物種類及品種均存在諸多問題，值得深入探討及謀求解決之道。

生質柴油之來源，理論上，各種植物油脂，諸如大豆油 (黃豆油)、玉米油、葵花油、米糠油、棕櫚油等，或回收油及動物油脂，均可做為其原料，與醇類 (甲醇、乙醇) 經轉酯化反應予以製造，同時可獲得副產物--甘油 (Glycerine) 可供生產化粧品、醫藥品等市場。其產製過程為甲醇與植物油之比率為 3：1～6：1，一般以鹼催化製程生產 (以氫氧化鈉-對油脂重量的 1%為觸媒)，大約於 63℃混合攪拌反應 2 小時，即可得，或酸催化製成，其各有優缺點，視原料特性選擇適當之方法 (林等，2006) 。由於製程及設備簡單，可自行產製生質柴油利用。

生質柴油作物選擇及推動，可參考國外研究及推廣情形，供國內參考。歐洲是推動能源作物著力最深之國家，有 14 個國家研究能源作物開發與利用 (Venendall, et al., 1997)，共篩選 30 種作物，包括林木及草本植物，分析其栽培成本，生物質產量及環境的適應性，結果不同國家研究結果，適合作為能源的植物差異頗大，只有少數幾種作物可行，其考慮因素 (1) 基於政策及財政的考量。(2) 基於環境氣候因素選擇作物。(3) 高生物質產量 30-40 噸生物量/公頃，如高粱、芒草等。(4) 收穫時期的適合性，如收穫後是否須乾燥及貯藏條件等所需要之能源，及落葉或殘枝可回歸土壤作為肥料利用，對生態環境有益性等。(5) 農民容易接受、雜草容易控制、容易栽培及省工、作物需水量及肥料需求量少，及回歸土壤的有機物量多。(6) 運輸成本。(7) 農民租地及利潤，農藥使用種類及 N 肥淋洗作用是否影響地下水品質。(8) 作物栽培技術及市場需求，影響農民栽培意願。(9) 透過研發將可減少生產成本，例如提高作物產量、耐逆境、抗病蟲害等，在未選獲最適合能源作物前，一般以目前已有的基礎進行栽培生產，因為耕作模式改變不大，投資生產成本較低等。(10) 因能源作物作為能源使用，不但節省石油資源且減少

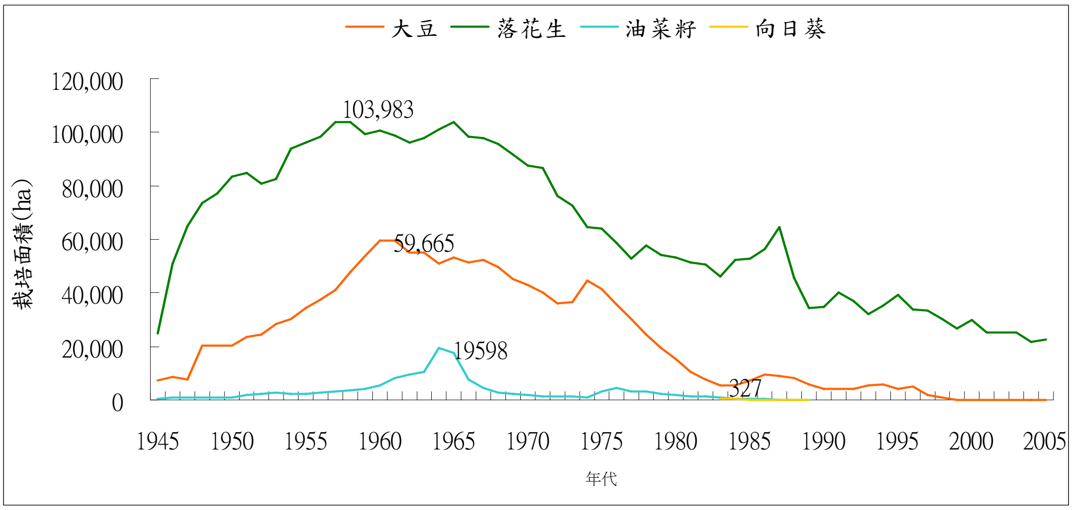
CO_2 排放量，為對環境友善的能源，因此必須考慮低農藥使用，對土壤的侵蝕作用，硝酸鹽的淋洗作用，腐植土的降解作用，廢水及廢泥渣的利用；水分利用效率要高，例如多年生植物，或 C4 型植物高於 C3 型植物。(11) 因此，未來研究方向為：選育適合的能源作物，可獲得高能量產出/投入比；低成本的多年生作物；以友善及有效的方法控制雜草；低需水量或高水分利用率之作物；廢水再利用；副產物開發與利用；作物品種改良、並考慮收穫期、肥效、氣候等影響作物品質的因素；收穫方式影響能源成本，以乾燥收穫及容易粉碎的作物最省成本；是否可週年生產、能量的轉換，作物生產成本等；最後為農民接受程度。

由於生產成本偏高，開發副產物利用為影響推動生質柴油產業成功與否之重要因素之一，例如作為土壤改良劑，不但增加水果產量及品質，也可減少病蟲害 (Cohen, M. F., and M. Mazzola. 2004)。利用生物質作為能源用途，可能影響糧食生產及人類能量的獲得，最好能兩者兼顧，在荷蘭比較 (1) 能源作物生產能源，廢棄物作為飼料。(2) 以農業廢棄物作為能源及肥料生產糧食作物。(3) 以農業廢棄物作為能源及肥料生產飼料作物。結果以能源作物生產能源而廢棄物作為動物飼料最有效率 (Nonhebel, 2007) 。

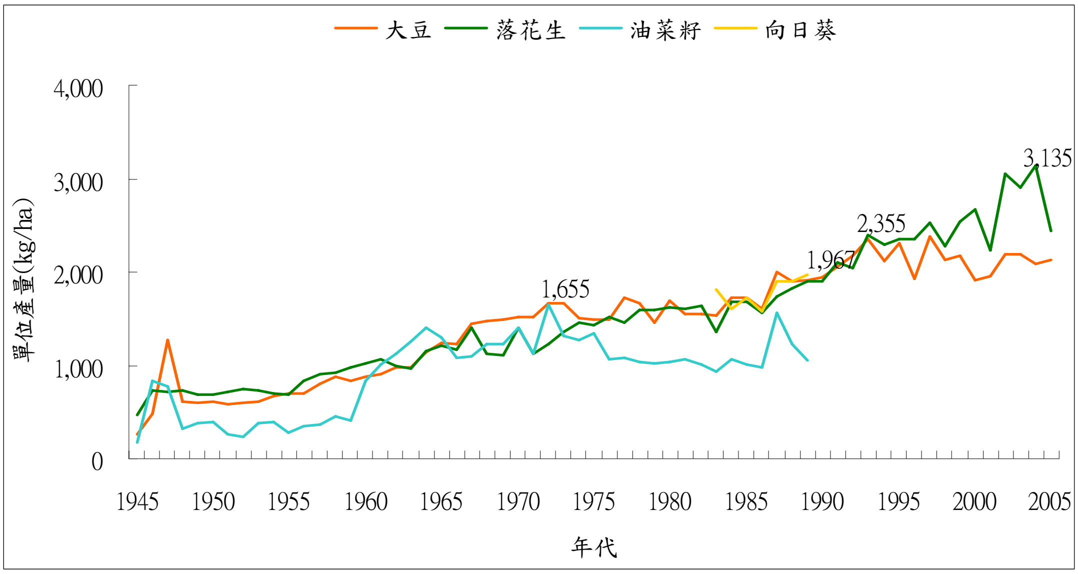
目前生質柴油推廣以德國最成功，從 1992 年開始推廣，產量約 5,000 公噸，初期成長緩慢，在最近的十年，生質柴油產量增加約 50 倍，至 2006 年可達 200 萬公噸，約占世界 80%，主要作物為冬油菜，其推廣成功，主要因育種及栽培雜交種 F1，其產量可達 5,000 公斤/公頃，含油率可達 45%。其次為美國，以大豆油為主。其榨油後之豆粉均具有高營養價值，並已開發多種營養品及飼料用途，為生產生質柴油之有利條件。

國內主要油脂作物品種與栽培概況

臺灣主要油脂作物有大豆、落花生、油菜及向日葵，歷年來栽培面積大豆最高為約 6 萬公頃（圖一），落花生為 10 萬公頃，油菜為 2 萬公頃，向日葵為 327 公頃。平均公頃產量大豆最高為 2,355 公斤（圖二），落花生 3,135 公斤，油菜 1,655 公斤，向日葵 1,967 公斤。目前只剩落花生有經濟栽培，年種植面積約 2~3 萬公頃。



圖一、 1945~2005 年臺灣主要油脂作物栽培面積
資料來源：臺灣農業年報



圖二、臺灣主要油脂作物平均公頃產量
資料來源：臺灣農業年報

一、落花生

落花生為原產於南美之豆科熱帶作物，臺灣栽培之年代可能也是在 16 世紀後期，迄今約有 400 餘年之歷史。落花生種子含粗蛋白質 22～30% 及油分 44～56% ，脂肪酸含量以不飽和脂肪酸之油酸 47.4% 及亞油酸 37.5% 最高，適合食用、油用及加工。

落花生之適應性大，對土壤及氣候條件之要求不嚴，故分佈極廣，自北

緯 45 度至南緯 45 度之地區均有落花生之栽培。對土壤條件之要求並不嚴格，可說是一種耐瘠作物，任何農地皆可栽培，尤其是新墾地。但栽培落花生最理想之土壤為排水良好之壤質砂土（loamy sand）、砂質壤土（sandy loam） 或砂質粘壤土。

落花生喜好高溫，生長期懼霜，在熱帶地區經年均可生長。生長期約 4~6 月，在溫帶地方為夏季作物，早熟種 105~135 日，中熟種 140~170 日，晚熟種 180~210 日成熟。溫度與種子含油量有密切之關係，在熱帶及高溫地區生產之種子含油量高。臺灣大部分之地區一年皆可栽培兩作落花生。在南部地區由於冬季溫度較高，因此尚可栽植一作秋裏作，即一年可三作。

臺灣歷年育成品種及地方品種共 32 個品種，由純子選育及地方品種（表一）共 19 個品種，初期均以油用為主，後來育種目標為食用為主，其植物型主要以 Spanish 型，澎湖地區以 Runner 型品種為主，主要來源為中國及東南亞。從 1959 年起由雜交育種方法已陸續育成新品種（表二），均以 Spanish 型為主，初期品種以產量及油用為育種目標，另外，臺農 5 號為短期休眠性為目標，從臺南 11 號起，則以大莢及大粒型為育種目標，而花蓮 2 號為 Valencia 型多粒莢型品種，臺農 7 號則大莢大粒又甜度高之優質品種，這些品種坳以食用為主。

落花生栽培目前以彰化、雲林兩縣為落花生主要產區，約佔臺灣栽培總面積 80% 以上。近年來栽培面積 2~3 萬公頃，其平均公頃產量達 3,000 公斤以上，在世界排名均為 10 名左右，但視氣候變化而變動，可見近年來之育種成效卓著（表三）。

由於落花生油份含量高，產油量約為大豆之 2～3 倍，美國也進行落花生作為生質柴油之可行性，研究發現有 1 個很適合作為能源用之品種 -Georganic，由於只要使用 1 次除草劑及抗病性佳之特性，可減少成本及增加產量。另外，研究以減少整地及篩選抗多種病害品種，及高油酸品種 (Durham, S., 2007)。值得國內參考研究利用。

臺灣如以落花生作為生質柴油之料原，需以小粒型、高油份、抗病蟲害佳之品種，配合少耕作方式，以少耗能之機械採收方式 (如國外採兩段式，第一段先翻犁田間曬乾後，第二段一次脫莢及脫粒，可減少能源消耗量)。

優勢：熱帶作物，適合臺灣栽培，生育期短，約 120 天，每年可 2 收；耐旱，可節省水資源利用，適合沙質地種植；產量高，含油率高，機械化普遍，可減少機械設備投資。

劣勢：花小，無美化環境之效果；採收效率較低及種子需曬乾，生產成本較高。

表一、臺灣落花生以純系選拔育成之品種及地方品種

品種	來源	植物型	育成年度	油份含量(%)
1.油豆	地方品種	Spanish	-	52.4
2.老公仔豆	地方品種	Spanish	-	54.6
3.立枝仔	地方品種	Virginia	-	48.1
4.大冇	地方品種	Runner	-	49.0
5.鴛鴦豆	地方品種	Runner	-	47.8
6.臺南白油豆 1 號	北港白油豆	Spanish	1942	55.8
7.臺南白油豆 2 號	善化白油豆	Spanish	1942	56.6
8.臺南白油豆 5 號	東石白油豆	Spanish	1942	53.5
9.青島	青島花生	Spanish	1956	54.6
10.臺農 1 號	懷遠花生	Spanish	1956	55.9
11.澎湖 1 號	鴛鴦豆	Runner	1961	51.8
12.澎湖 2 號	鴛鴦豆	Runner	1961	51.4
13.臺農 2 號	金門地方種	Spanish	1963	57.0
14.臺農 3 號	Imp. Spanish	Spanish	1963	57.1
15.西班牙白	Spanish White	Spanish	1963	57.6
16.臺南選 9 號	越南 Giay	Spanish	1966	48.9
17.澎湖 3 號	地方品種	Runner	1996	45.4
18.臺中選 1 號	立枝仔反	Virginia	2006	-
19.臺中選 2 號	立枝仔反	Virginia	2006	-

資料來源：臺灣雜糧作物品種圖說

表二、落花生以雜交方法育成之品種

品種	植物型	育成年度	油份含量(%)
1.臺南 6 號	Spanish	1959	55.2
2.臺南 7 號	Spanish	1959	55.7
3.臺農 4 號	Spanish	1971	51.7
4.臺南 10 號	Spanish	1976	57.1
5.臺農 5 號	Spanish	1982	49.7
6.臺南 11 號	Spanish	1986	45-53
7.臺南 12 號	Spanish	1993	49.3
8.臺農 6 號	Spanish	1995	48.2
9.花蓮 1 號	Spanish	1997	48.2
10.臺南 13 號	Spanish	1998	48.0
11.臺南 14 號	Spanish	1998	47.6
12.花蓮 2 號	Valencia	2003	48.0
13.臺農 7 號	Spanish	2003	51.9

資料來源：臺灣雜糧作物品種圖說及命名資料

表三、近年世界重要國家之落花生莢果產量　　（單位：kg/ha）

年度 / 國家	2000	2001	2002	2003	2004	2005	排名
義大利	-	5,428	-	5,911	6,153	6,396	1
以色列	6,443	7,117	5,806	8,311	6,025	5,900	2
馬來西亞	5,110	5,590	3,728	5,270	4,845	4,857	4
西班牙	2,647	2,892	2,555	3,461	3,500	4,166	5
沙烏地阿拉伯	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	6
美國	2,737	3,397	2,869	3,541	3,447	3,317	9
中國	2,971	2,884	3,009	2,655	3,014	3,080	10
臺灣	2,670	2,228	3,050	2,908	3,135	2,438	15
日本	2,472	2,242	2,412	2,308	2,338	2,380	20
韓國	1,913	2,019	2,045	1,759	2,390	2,058	24
泰國	1,596	1,616	1,621	1,621	1,632	1,629	33

資料來源：FAOSTAT | © FAO Statistics Division, 2006.

二、大豆

大豆原為溫帶作物，對溫度及日照敏感，但經常年馴化及品種改良，以可從溫帶北部到熱帶均可栽培。對土質的選擇不嚴，除了過於粘重的土壤外，大部份的土質均可生長，但仍以土壤肥沃，有機質含量高的壤土最為適合。

臺灣大豆品種南部一年可栽培三作，北部亦可種植二作，其品種對光期鈍感，生育適溫 20~30℃。生育日數約 90~120 天，播種期春作在 1 月~2 月間，夏作 6 月~7 月間，秋裡作 9 月~10 間，公頃產量可達 1500~3200 公斤，油份含量 17%~24% 之間。低油份含量品種約 13~14%，一般品種約 18~24%，高油份品種可達 26~27%。農試所作物種庫保存約六千多個大豆種原，油份含量在 9.7~34.2%，值得加以篩選利用。

大豆歷年育成之品種約有三十多種品種，初期也以油用為主，後期則為加工食用(高蛋白質)為主，其中較高油份含量之品種有三國等 7 個品種（表四)，油份含量均高於 20%，其中以高雄選 10 號及花蓮 2 號較高達 23%以上，公頃產量可達 2,500 公斤以上，這些品種特性有些對溫度及日照敏感，需注意栽培時期。

於 2006 年在高屏地區評估，以大豆高雄選 9 號、毛豆高雄選 1 號及高雄 3 號等較適合，產量為 2,869~3,264 公斤/公頃，油份含量約 20%。採用機械化生產成本為 42,600~ 46,200 元/公頃，平均每生產成本約 16.9 元/公斤。在嘉南地區，以臺南選 1 號、高雄 8 號、高雄選 10 號等較適合，產量為 2,737~2,896 公斤/公頃，油份含量約 20.2%~21.4%，利用省工機械栽培法，生產成本約 31,800 元/公頃 (約 16.0 元/公斤)，傳統栽培法約 43,600 元 (約 17.5 元/公斤)，產量雖由 2,490 公斤減為 1,980 公斤，估算淨收益仍較傳統栽培法多約 11,800 元。如轉換為生質柴油，估計成本約 40~50 元/公升 (扣除豆渣 9 元/公斤)。

優勢:生育期短，約 90~120 天，每年可 2~3 收，收穫期植株已乾枯，機械採收容易，可減少種子乾燥所需之能源，運輸及貯藏方便。

劣勢:種子含油份較低；花小，無美化環境之效果；目前種植面積少，採收機數目少，不利於推廣栽培，應朝向集團化或委託代耕業者，以大面積機械化栽培，降低生產成本，或種植轉基因大豆品種，可減少雜草及病蟲害防治之成本，才能與國外進口大豆 (約 10 元/公斤) 競爭。

表四、臺灣育成之高油份大豆品種之產量、油份含量及特性

品種	籽實產量 (kg/ha)	油分含量 (%)	特性	育成年度
三國	2000~3000	榨油用	晚熟，對日照及氣溫極敏銳	1956
高雄 3 號	1900~3000	17~21	中熟，對日照溫度鈍感	1971
高雄選 9 號	1480~3500	18.5~21.7	中熟，對日照鈍感	1982
高雄選 10 號	2500~3600	22.7~23.6	中熟，對溫度敏感對日照鈍感	1985
中興 1 號	4500	21.95	中熟，對日照、溫度鈍感	1964
臺南選 1 號	2763 ~2886	21~23	早熟，日照鈍感低溫敏感	1986
花蓮 2 號	2500~3200	23.0~23.6	-	1988

資料來源：臺灣雜糧作物品種圖說

三、向日葵

向日葵為菊科 (Compositae) 一年生草本植物，原產美國西部。可分為油用、食用及觀賞用三型。栽培的適應性廣。它可生長於廣大緯度範圍內，少雨量及短生長季節地區，尤以大部分溫帶地區最適於生長。一般來說，從北緯 49 度至南緯 41 度，年雨量在 350 公釐以上，凡可種植玉米的地區均可栽培。

在臺灣全年皆可生長，中南部較適合於秋裡作（9～10 月）栽培，6～7 月為颱風多雨季節避開為宜，生育初期高溫適中，生育後期低溫乾燥，不但產量高，種子品質好，且含油率高，油的組成分亦佳。其次為 2~3 月（春作）播種者，植株發育良好，但後期（4~6 月）高溫多溼，種子產品品質差，含油率亦低。栽培地區則以雲林以南為最適。

臺灣向日葵品種只有臺南 1 號雜交品種 (表五)，其適合栽培地區以南部為主，籽實油份可達 58%，公頃產量約 2,000 公斤，與高產國家相差無幾。但，由於成熟期鳥害嚴重，栽培面積不多。

向日葵世界平均籽實公頃產量 2005 年為 1,327 公斤（表六），最高為匈牙利之 2,432 公斤，其次為法國之 2,251 公斤。種植面最大為蘇聯，其次為烏克蘭。總生產量仍為蘇聯。

於 2006 年在嘉南地區示範推廣約 100 公頃，由於栽培面積零散，鳥害嚴重，約有 30% 以上損失，如遇颱風大雨，容易造成倒伏而腐敗，機械採收亦困難，估計產量只有約 1,000 公斤/公頃，生產成本約 35~40 元/公斤，較無競爭力，適合秋作 9~10 月以後無颱風大雨季節種植。

優點：花大及花期長，具有美化環境效果；蜂蜜的重要來源；生預期短，約 120 天；生物質產量高 (約 30 頓/公頃)。

缺點：遇颱風大雨，容易造成倒伏而腐敗，及成熟期鳥害嚴重，需加強改善品種特性。

表五、臺灣育成之向日葵育成品種之產量、油份含量

品種	籽實產量 (kg/ha)	油分含量 (%)	育成年度	播種期
臺南 1 號	1500~2500	57.94	1985	9 中旬~10 月下旬

資料來源：臺灣雜糧作物品種圖說

四、油菜

油菜為溫帶作物，臺灣適合在冬季裡作培栽，種植時期：南部- 6 月上旬；中部 - 6 月上旬；北部 - 6 月中旬。生育日數：120-160 天。種子收穫適期：約開花後 2 個月，植株基部 1/3 高度的果莢黃熟時。種子收穫量：2,000-2,500 公斤/公頃。

臺灣歷年育成之品種 (表六) 均以油用為主，籽實產量可達 3,900 公斤（桃園 4 號），油份含量約 39%，具有世界之水準；油份含量最高品種為臺中特 1 號約 42%，具早熟性，但產量稍低。

2005 年世界油菜種植面積以中國最大（表七），其次為印度。籽實公頃產量以法國最高為 3,649 公斤，其次為德國之 3,462 公斤，但 2007 年可達 5,000 公斤，主要國雜交第一代品種廣泛栽培之故。總生產量仍以中國最多，其次為加拿大。

德國是世界上推廣生質柴油最成功的國家，2006 年生質柴油生產量可達 200 萬公噸，約占世界 50% 以上，其選用之作物即為冬油菜，除育種成效(產量可達 5,000 公斤/公頃，油份可達 45%) 外，更強調環境美化之功能，有益身心健康，是生活水準的另一項指標。

優勢:開花期長，具有美化環境效果；蜂蜜的重要來源。

表六、臺灣育成之油菜品種之產量、油份含量及特性

品種	籽實產量 (kg/ha)	油分含量 (%)	特性	育成年度
臺中特 1 號	1500~2500	40~42	早熟 耐溫耐濕強	1959
臺中選 2 號	2228~3500	38~41	中熟 不倒伏	1959
新竹 2 號	2000~2600	35~40	中熟 耐濕性強	1964
桃園 4 號	3900	34~39	中熟 不易倒伏	1984
農林 20 號	2000~2800	41~43	晚熟易倒伏	1954

資料來源：臺灣雜糧作物品種圖說

表七、油菜 2000 年及 2005 年世界各國生產統計表

項　目	種植面積 (1,000 公頃)		籽實產量 (kg/ha)		總生產量 (1,000 公噸)	
年　度	2000	2005	2000	2005	2000	2005
世界	25,833	26,950	1,529	1,722	39,515	46,409
中國	7,494	7,220	1,518	1,807	11,380	13,050
印度	6,026	6,800	960	941	5,788	6,400
加拿大	4,859	5,154	1,482	1,638	7,205	8,446
德國	1,078	1,345	3,326	3,462	3,585	4,658
法國	1,186	1,211	2,930	3,649	3,476	4,419
澳洲	1,459	1,080	2,421	3,013	1,775	1,125
美國	607	456	1,495	1,491	909	680

資料來源：FAOSTAT | © FAO Statistics Division, 2006.

世界主要油脂作物生產概況

分析世界主要油脂作物生產情況，可供國內參考選擇能源用之作物，及國內發展面臨之競爭力。

一、世界油脂作物籽實生產量

根據世界農糧組織統計，2005 年世界生產最多的作物依序為大豆，棕櫚仁，花生，油菜，棉籽及向日葵（表八），大豆生產量最多者為美國，其次為巴西。棕櫚仁以馬來西亞最多，其次為印尼。花生以中國最多，其次為印度。油菜仍是中國最大宗，其次為加拿大。棉籽亦以中國最多，其次為美國。向日葵為俄國最多，其次為烏克蘭。大豆平均公頃產量最高為喬治亞之 7,267 公斤（表九），其次為義大利之 3,630 公斤，美國為產量最大之國家，其產量為 2,890 公斤；棕櫚仁平均公頃產量最高為瓜地馬拉之 31,414 公斤，其次為宏都拉斯之 27,400 公斤。花生以義大利公頃產量最高為 6,397 公斤，其次為以色列之 5,900 公斤。油菜以比利時最高為 4,258 公斤，其次為愛爾蘭之 3,794 公斤。棉籽以敘利亞最高之 2,566 公斤，其次為柬埔寨之 2,542 公斤。向日葵以瑞士之 2,989 公斤最高，其次為奧地利之 2,677 公斤。

分析世界主要油脂作物籽實產量趨勢（圖三），明顯可見大豆逐年增加且產量最高，而棕櫚仁亦逐年增加且幅度大於大豆，而花生，棉籽，油菜籽增加較不明顯。

表八、2005 年世界主要國家油脂作物籽實生產量　　(單位：1,000 公噸)

大豆		棕櫚仁		花生		油菜籽		棉籽		葵花籽	
美國	83,368	馬來西亞	75,650	中國	14,411	中國	13,068	中國	11,400	俄國	6,441
巴西	51,182	印尼	64,255	印度	7,200	加拿大	9,862	美國	7,712	烏克蘭	4,706
阿根廷	38,300	奈及利亞	8,931	奈及利亞	3,478	印度	6,800	印度	5,000	阿根廷	3,652
中國	16,800	泰國	5,003	美國	2,187	德國	5,058	巴基斯坦	4,429	美國	1,830
印度	6,300	哥倫比亞	3,273	印尼	1,469	法國	4,536	烏茲別克	2,470	中國	1,823

資料來源：FAOSTAT | © FAO Statistics Division, 2006.

表九、2005 年世界主要國家油脂作物籽實公頃產量　　(單位：kg/ha)

大豆		棕櫚仁		花生		油菜籽		棉籽		葵花籽	
喬治亞	7,267	瓜地馬拉	31,414	義大利	6,397	比利時	4,258	敘利亞	2,566	瑞士	2,989
義大利	3,630	宏都拉斯	27,400	以色列	5,900	愛爾蘭	3,794	柬埔寨	2,542	奧地利	2,677
埃及	3,400	尼加拉瓜	25,000	賽普勒斯	5,276	德國	3,747	澳大利亞	2,519	德國	2,476
土耳其	2,997	喀麥隆	22,414	馬來西亞	4,857	荷蘭	3,694	以色列	2,375	埃及	2,438
美國	2,890	馬來西亞	20,898	西班牙	4,167	法國	3,683	馬達加斯加	2,154	捷克	2,392

資料來源：FAOSTAT | © FAO Statistics Division, 2006.

二、世界主要之植物油生產量

世界主要之植物油生產量（表十）主要有棕櫚油，大豆油，油菜油，葵花油…等，近 5 年來以棕櫚油產量最高達 33.8 百萬噸，且增幅最大，其次為大豆油有 33.8 百萬噸，亦逐年增加。油菜籽油為 16.59 百萬噸。世界總生產量亦逐年增加，由 92.9 百萬噸增加到 115.0 百萬噸，且幅度亦增加。

臺灣近 10 年來大豆及花生油產量及進口量（表十一），大豆油自產量明顯萎縮，2005 年占總生產量之 0.6%，進口之大豆籽實量大約在 2 百多萬噸，油生產量亦大約在 30 萬噸左右。花生國內自產之籽實產量則逐年減少，進口量逐年增加，花生油則大約維持在 8 千噸上下。

表十、近 5 年世界主要植物油生產量　　(單位：百萬噸)

植物油＼年度	2001	2002	2003	2004	2005
棕櫚油	25.44	27.78	29.70	34.03	34.80
大豆油	28.92	30.55	29.85	32.29	33.87
油菜籽油	13.06	12.25	14.20	15.71	16.59
葵花油	7.48	8.25	9.26	9.21	10.46
花生油	5.12	4.56	4.95	4.96	4.93
棉籽油	3.82	3.51	3.84	4.76	4.67
棕櫚仁油	3.12	3.36	3.67	4.10	4.20
椰子油	3.21	3.17	3.25	3.27	3.27
橄欖油	2.75	2.51	3.00	2.74	2.28
總計	92.92	95.94	101.70	111.07	115.06

資料來源：Oil Crop Outlook, 2006. Foreign Agricultural Service, USDA.

表十一、近 10 年臺灣大豆、花生之子實與油產量之比較 (單位：千噸)

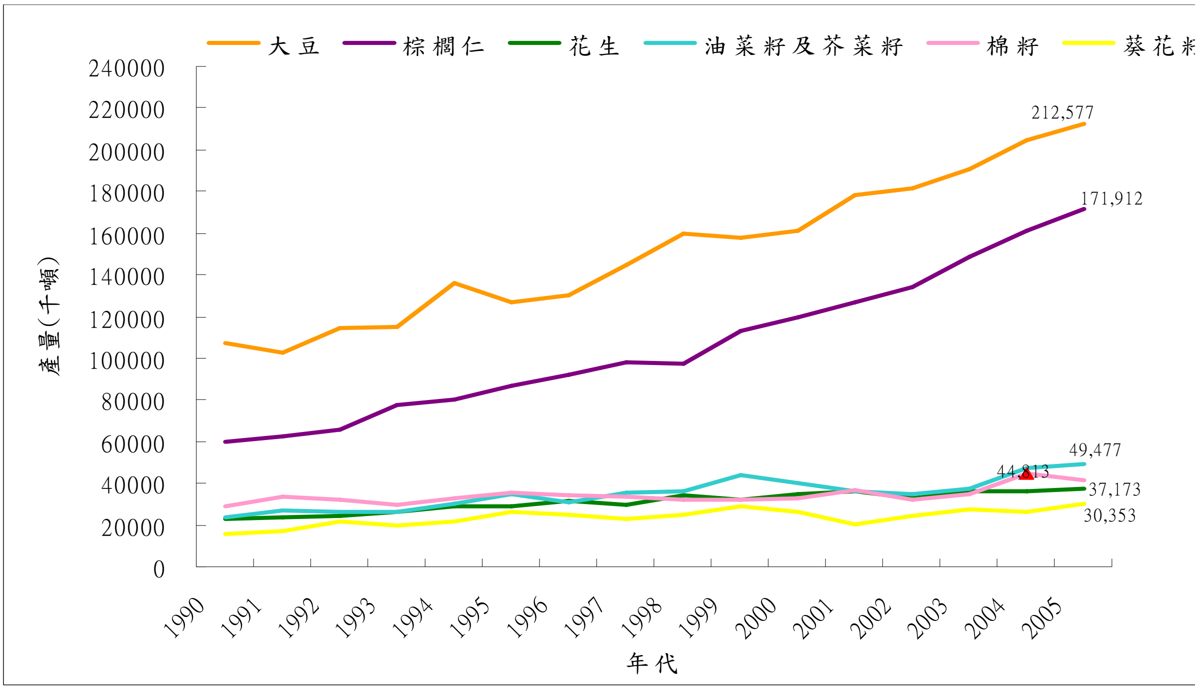
年度	大豆			花生		
	國內產量	進口量	油生產量	國內產量	進口量	油生產量
1996	9.7	2,691	363	79.9	4.4	8.8
1998	1.5	2,003	296	68.3	4.0	7.5
2000	0.3	2,303	298	79.1	4.9	8.8
2002	0.4	2,535	313	77.5	8.1	9.0
2004	0.3	2,029	286	68.3	8.0	8.1
2005	0.2	2,449	322	53.9	8.5	6.5

資料來源：94 年農業統計年報；94 年糧食供需年報

三、世界主要油脂作物價格趨勢分析

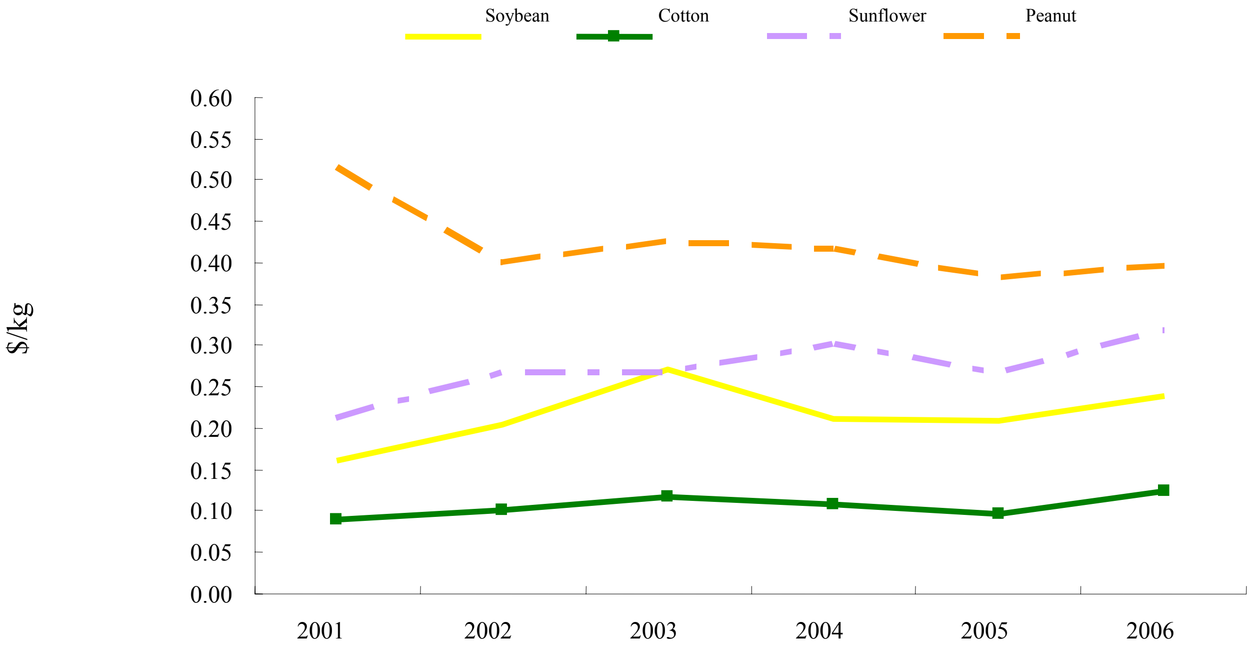
在美國主要油脂作物之種子價格變化趨勢（圖四）近 6 年來價格變化不大，但以花生價格最高約 0.4 美元／公斤，且有下降之趨勢， 其次為向日葵價格約 0.32 美元／公斤，再次為大豆約為 0.25 美元／公斤，棉籽最便宜約為 0.12 美元／公斤。而其植物油價格變化起伏較大（圖五），仍以花生油最貴約 1.2 美元／公斤，其次為葵花籽油約 0.9 美元／公斤，且有逐年增加之趨勢。再次為棉籽油約為 0.7 美元／公斤，而大豆油及玉米油價格相當，約為 0.6 美元／公斤。

榨油後之油脂作物粉末價格變化（圖六），以大豆價格最高約為 0.23 美元／公斤，其次為 Canola 約為 0.2 美元／公斤，棉籽約為 0.18 美元／公斤，花生最便宜約 0.13 美元／公斤，且跌幅最大。



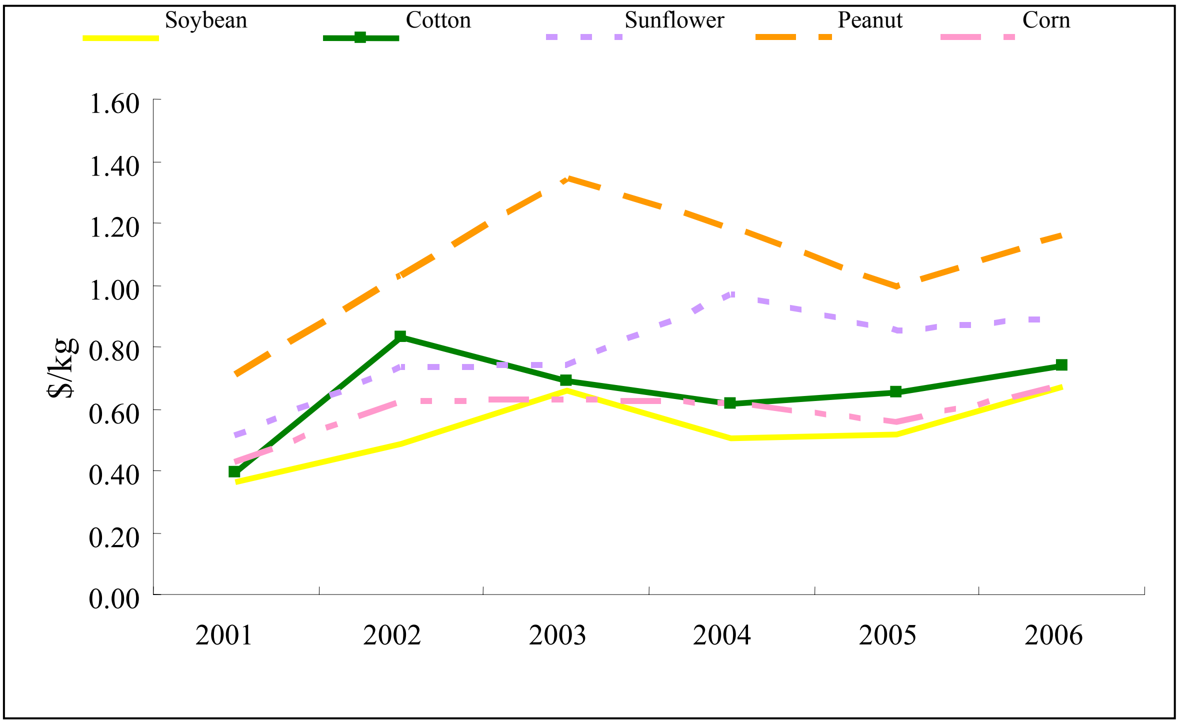
圖三、1990~2005 年世界油脂作物種子產量變化趨勢

資料來源：FAOSTAT | © FAO Statistics Division 2006.



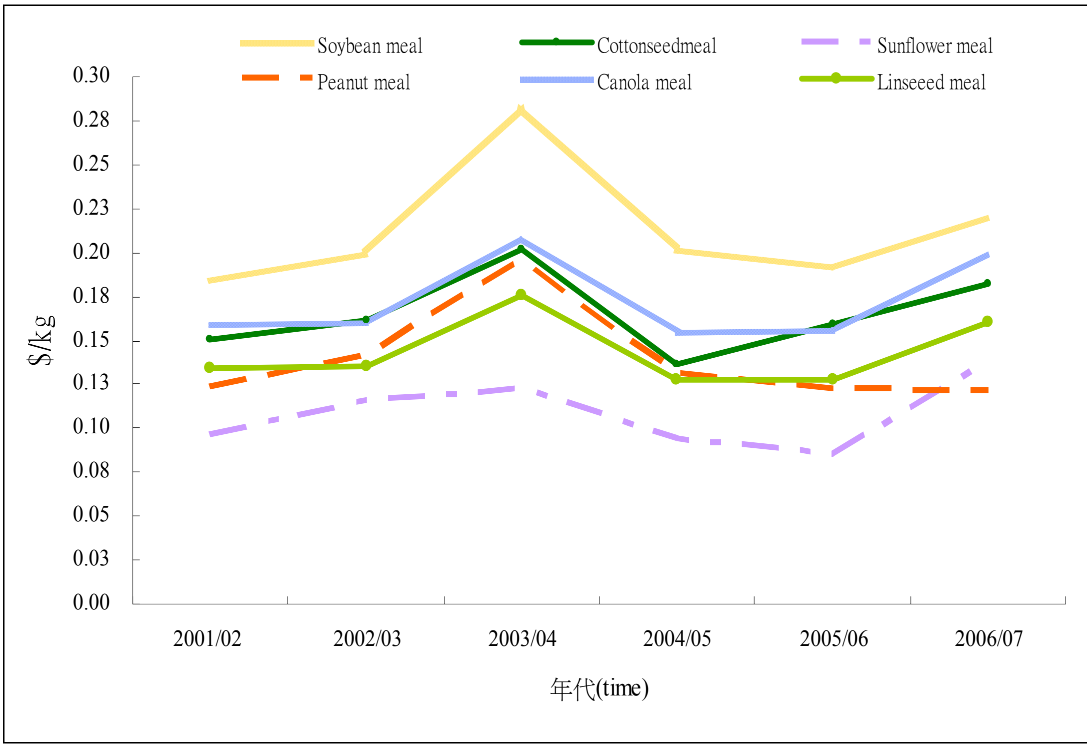
圖四、美國近年來主要油脂作物種子價格變化趨勢

資料來源：Oil Crop Outlook, 2007.



圖五、美國近年來主要植物油價格

資料來源： Oil Crop Outlook, 2007.



圖六、近年來美國主要油脂作物粉末價格變化趨勢

資料來源： Oil Crop Outlook, 2007.

開發新興油脂作物

由於利用食用油生產生質柴油，已造成食用油與能源之競爭，爲避免與食用油產生衝突，造成恐慌，利用廢耕地，不與農爭地，不與人爭糧，開發非食用油植物因應而生，目前已有許多國家進行研究，例如痲瘋樹為最熱門之植物。也有利用橡膠種子生產 (Ikwuagwu, O. E., et al., 2000)。也有利用菸草種子進行試驗 (Usta, N. 2005)。

而且，利用廢棄物可開發副產物，提高附加價值。在奈及利亞研究農業廢棄物如椰子殼、棕櫚果穗廢棄物，高粱籽實麩糠及花生殼製作肥皂及肥料，化學分析廢棄物灰分結果以碳酸鉀含量最高，其次為氫氧化鉀 (Taiwo and Osinwo, 2001) 。

一、痲楓樹

痲瘋樹（*Jatropha curcas* L.）又稱為綠玉樹、耙籬果、膏桐等，屬大戟科，它原產美洲，現廣泛分佈於亞熱帶及乾熱河谷地區。多年生灌木或小喬木，樹高 2～5 米，分枝多，幼枝粗壯，綠色。單性花，雌雄同株，一般四月開花，七月果熟。蒴果內有種子二至三粒，黑褐色。一般植後二至三年結果，一年收穫一次，有些品種結果兩次，正常結實期為六十年。根系發達，具有較強的耐乾旱瘠薄能力，容易種植，扦插都能成活。汁液有毒，有抗病蟲害能力；落葉可改良土壤，保持水土。

在印度已開發生產生質柴油，耐旱、耐貧瘠，適合乾旱及半乾地區栽培，抗病蟲害且高產，可收穫 30- 40 年，種子含 30-40% 油份。印度有近千萬公頃廢耕地，如種植痲瘋樹可綠化及提振農業經濟，減少進口原油及空氣污染。痲瘋樹含有高油脂，其植物油之飽和脂肪酸較低約 21.1%，不飽和脂肪酸約 78.9%，不飽和脂肪酸以油酸（Oleic）最高約 43.1%，而棕櫚油因飽和脂肪酸太高約 43.4%（表十二），其生產之生質柴油品質較差，其他如大豆油及向日葵油雖然不飽和脂肪酸均高，但 Oleic 含量較低，Linoleic 太高，因此容易氧化而變質，亦影響生質柴油品質，需改善此缺點。這些植物油生產之生質柴油品質理化特性比較（表十三），閃火點以向日葵最高為 180℃，棕櫚油最低為 135℃，黏度以棕櫚油最高為 4.5，碳含量均低於 0.004%，霧點以棕櫚油最高為 16℃，辛烷值以大豆油最高為 58.1，氧化穩定性以棕櫚油穩定性最好為 13.37 小時，向日葵油最差只有 1.73 小時。棕櫚油但因飽和脂肪酸太高，不適合低溫地區使用，利用痲瘋樹油及棕櫚油混合將可改善，並可提高氧化穩定性，生質柴油穩定性與乙醇及酸關係密切，乙醇會降低閃火點，不利貯存及傷害引擎 (Sarin, R., et al., 2007)。

表十二、痲瘋樹油與向日葵油、大豆油及棕櫚油之脂肪酸含量比較

脂肪酸	痲瘋樹油 (%)	向日葵油 (%)	大豆油 (%)	棕櫚油 (%)
Lauric(C_{12}/0)	—	0.5	—	—
Myristic(C_{14}/0)	—	0.2	0.1	—
Palmistic(C_{16}/0)	14.2	4.8	11.0	40.3
Palmitoleic(C_{16}/1)	1.4	0.8	0.1	—
Stearic(C_{18}/0)	6.9	5.7	4.0	3.1
Oleic(C_{18}/1)	43.1	20.6	23.4	43.4
Linoleic(C_{18}/2)	34.4	66.2	53.2	13.2
Linolenic(C_{18}/3)	—	0.8	7.8	—
Arachidic(C_{20}/0)	—	0.4	0.3	—
飽和脂肪酸總和	21.1	11.6	15.5	43.4
不飽和脂肪酸總和	78.9	88.4	84.5	56.6

資料來源：Sarin, et al., 2007.

表十三、痲瘋樹與向日葵、大豆及棕櫚產製之生質柴油理化特性

特性	痲瘋樹	向日葵	大豆	棕櫚
閃火點(℃)	163	180	160	135
粘度(40℃時)	4.4	4.1	4.0	4.5
硫含量(%)	0.004	0.003	0.002	0.003
霧點(℃)	4	4	4	16
辛烷值	57.1	55.6	58.1	54.6
氧化穩定性(小時)	3.23	1.73	3.80	13.37

資料來源：Sarin, et al., 2007.

二、蓖麻

蓖麻 (*Ricinus communis* L.) 為大戟科，一年生或多年生草本，原產熱帶非洲，今廣泛分布於熱帶及溫帶。多年生灌木或粗大有枝，直立之草本，枝葉紅褐色，常被白粉物。葉互生枝端，具長柄，葉大，盾形，掌狀分裂，花雌雄同株，無瓣，腋出，略呈圓錐狀之總狀花序，雄花在下，叢著，雌花在上擠生。蒴果由 3 個 2 瓣小乾果組成，根系團網型，淺根性疏根。種子含油份 30-50%，種皮含有毒性植物鹼 ”ricin”與”ricinin” ，具猛毒，惟殘留於榨粕中，油分內則無毒。氣溫 20-25℃以下生育不良。耐旱，砂質壤土為佳，

播種適期，南部 8 月下旬至 9 月上，中、北部 9 月下旬。臺灣目前並無經濟栽培，可能產量低及收穫困難，需進一步改良。

世界總栽培面積約 140 萬公頃，產量約 139 萬噸，公頃產量已巴拉圭最高為 1150 公斤，栽培最多為印度，其次為中國 (表十四)。

表十四、世界各國篦麻生產概況

項　目	種植面積 (1,000 公頃)		單位面積產量 (kg/ha)		總生產量 (1,000 公噸)	
年 期	2000	2005	2000	2005	2000	2005
世界	1,691	1,409	804	988	1,359	1,393
印度	1,079	800	817	1,087	882	870
中國	290	270	1,034	992	300	268
巴西	195	214	516	823	100	176
衣索比亞	14	14	1,034	1,034	15	15
泰國	13	13	655	740	8	10
肯亞	13	13	230	230	3	3
巴拉圭	9	10	1,124	1,150	11	11
南非	8	8	612	612	4	4
印尼	8	8	188	385	1	3
馬達加斯加	7	7	328	328	2	2

資料來源：FAOSTAT | © FAO Statistics Division 2005.

三、油桐

油桐 (*Aleurites fordii* Hemsley) 為大戟科，原產地為中國，分布於南部到東南亞，高 10 公尺左右的喬木，油桐性喜乾燥溫暖，栽培地以濕潤排水良好之傾斜地為佳，種子具有毒性，含油 30-70%。

臺灣以苗栗縣最多，每年舉辦同花祭，吸引大量觀光客，亦為另一種產業，但亦因收穫不易，仍無大量生產桐油，有待研究改良。

世界上栽培面積並不多，以中國 15 萬公頃最多，公頃產量以巴拉圭 3,984 公斤最高，其次為中國 2,866 公斤（表十五）。

表十五、世界各國油桐生產概況

項　目	種植面積 (千公頃)		單位面積產量 (kg/ha)		總生產量 (千公噸)	
年　期	2000	2005	2000	2005	2000	2005
世界	183	200	2,891	2,569	530	516
中國	135	150	3,359	2,866	453	430
阿根廷	30	32	1,100	1,093	33	35
巴拉圭	11	11	3,536	3,984	39	46
馬達加斯加	3	3	675	675	2	2
馬拉威	3	3	606	606	2	2
巴西	0.4	0.3	1,391	1,333	0.6	0.4

資料來源：FAOSTAT | © FAO Statistics Division 2005.

四、續隨子

續隨子 (*Euphorbia lathyris* L.) 原產於歐洲地中海區域之二年生草木，高度 1-1.5 公尺，開綠色花，結果後枯萎。在中國漢藥將種子稱為『續隨子』或『千金子』，種子含油量有 40-60%，但莖葉之乳汁可引起皮膚產生水泡。一般用種子繁殖，容易栽培，耐寒性強，可當觀賞植物。美國估計，續隨子一年每公頃可生產 25-125 桶油，故可稱為『石油植物』。

五、油加利樹

油加利樹 (*Eucalyptus globulus*) 原產於澳大利亞及紐西蘭的常綠喬木，亦有灌木種。此樹之生長速度可謂所有樹種中最快者。目前普通種植於臺灣、中國、美國、巴西、日本等國。油加利之果子、葉子、樹枝均含有 1-1.2% 之揮發性油及 3.3-5.1% 之非揮發性油。

結　語

由國外研究分析及推廣經驗結果，臺灣推廣能源作物有其必要性，但以何種作物最適當，需考慮因素眾多，目前以成本過高為最大瓶頸，從國內生產環境條件觀察，提出淺見供參考：

一、 花生為目前臺灣主要雜糧作物，從栽培技術及品種改良，均有一定水準，機械化普遍也是優勢，惟需改善機械收穫及乾燥所耗能源過多之問題。

二、 大豆是耗能較少之作物，機械化方便，副產物價值高為其優勢，但油份少及產量低，為其劣勢。

三、 油菜具有花海之美觀，開花期長，亦為蜜源重要來源，及根系生長旺盛，可避免土壤風化之特色。臺灣適合栽秋冬裡作栽培，配合過年春假，帶動觀光人潮，具有發展潛力。

四、 利用廢耕地開發非食用油之新興油脂植物如痲瘋樹、蓖麻等。

五、 國內生產成本偏高，需以省工方法栽培，例如以不整地栽培，可降低成本，亦可避免土壤流失。

六、 加強研究高產油量、抗病蟲害佳及抗逆境之作物品種，可降低能源投入，獲得較高之能源淨值。

參考文獻

謝順景。1982。能源作物。科學農業 30(1-2)：74-85。

雜糧作物各論，1994，蔡文福主編，雜糧基金會出版，臺北。

Antolin, G., F.V. Tinaut, Y. Briceno, V. Castano, C. Perez, and A.I. Ramirez. 2002. Optimisation of biodiesel production by sunflower oil transesterification. Bioresource Technology 83:111-114.

Bender, M. 1999. Economic feasibility review for community-scale farmer cooperatives for biodiesel. Bioresource Technology 70:81-87.

Bockey, D. and W. Schenck. 2005. Biodiesel production and marketing in Germany. Status Report Biodiesel. WWW.UFOP.DE

Bockey, D. 2006. Potentials for raw materials for the production of biodiesel. WWW.UFOP.DE

Bona, S., G. Mosca, and T. Vamerali. 1999. Oil crops for biodiesel production in Italy. Renewable Energy 16:1053-1056.

Cardone, M., M. Mazzoncini, S. Menini, V. Rocco, A. Senatore, M. Seggiani, and S. Vitolo. 2003 *Brassica carnata* as an alternative oil crop for the

production of biodiesel in Italy: agronomic evaluation, fuel production by trans esterification and characterization. Biomass and Bioenergy 25:623-636.

Cohen, M. F., and M. Mazzola. 2004. A reason to be optimistic about biodiesel: seed meal as a valuable soil amendment. Trends in Biotechnology. 22:211-212.

Durham, S. 2007. Peanut studied as source of Biodiesel fuel. Agricultural Research Service. News & Events. USDA.

Ikwuagwu, O.E., I.C. Ononogbu, and O.U. Njoku. 2000. Production of biodiesel using rubber (*Hevea brasiliensis* Kunth. Muell.) seed oil. Industrial Crops and Production 12:57-62.

Kallivroussis, L., A. Natsis, and G. Papadakis. 2002.The energy balance of sunflower production for biodiesel in Greece. Biosystems Engineering 81:347-354.

Gupta, K.K., and Khnna, K.R. 1982. Gene action and heterosis for oil yield and component characters in sunflower. Indian. J. Genet. Plant Breed. 42:265-271.

Hovelius, K., and Hansson, P-A. 1999. Energy and energy analysis of rape seed oil methyl ester (RME) production under Swedish conditions. Biomass and Bioenergy 17:279-290.

Lobb, D. 1989. A study of the impact of no-till on tractor fuel cost vs. crop returns. Agricultural Energy Centre, Guelph, Ontario, Canada. 19 pp.

Nonhebel, S. 2007. Energy from agricultural residues and consequences for land requirements for food production. Agricultural System 94:586-592.

Pramanik, K. 2003. Properties and use of *Jatropha curcas* oil and diesel blends in compression ignition engine. Renewable Energy 28:239-248.

Ramadhas, A.S., S. Jayaraj, and C. Muraleedharan. 2005. Biodiesel production from high FFA rubber seed oil. Fuel 84: 335-340.

Raneses, A.R. L.K. Glaser, J.M. Price, and J.A. Duffield. 1999. Potential biodiesel markets and their economic effects on the agricultural sector of United Station. Industrial Crops and Production 9:151-162.

Rathke, G.W. and W. Diepenbrock. 2006. Energy balance of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) cropping as related to nitrogen supply and preceding crop. Europ. J. Agronomy 24 : 35–44.

Sarin, R., M. sharma, S. Sinharay, and R. k. Malbotra. 2007. Jatropha-Palm biodiesel blends: An optimum mix for Asia. Fuel 86:1365-1371.

Taiwo, O.E., and Osinwo. 2001. Evaluation of various agro-wastes for traditional black soap production. Bioresource Technology 79:95-97.

Venendaal, R., Jorgensen, U. and Foster,C. A. 1997 European energy crop: A synthesis. Biomass and Bioenergy 13:147-185.

Usta, N. 2005. Use of tobacco seed oil methyl ester in a turbocharged indirect injection diesel engine. Biomass and Bioenergy 28:77-86.

醣質與澱粉作物品種開發與栽培

賴永昌[1] 羅淑芳[1] 賴瑞聲[2] 蔡武雄[1]

1. 行政院農業委員會農業試驗所嘉義分所
2. 行政院農業委員會農業試驗所生技組

摘 要

經濟發展一直被認為國家發展成功與否之指標，而能源是否能夠充分供應對經濟發展具有重大影響力，石油為世界上各國使用最多的能源，大約佔所有能源供應量之 37%。但對許多國家而言，大部分之石油皆仰賴進口，而所進口之石油大部分 (約 30%) 來自政治動蕩之中東波斯灣國家，而且所進口之石油常常成為各國貿易逆差之主要因素；另外燃燒後之石油所釋放出之二氧化碳造成空氣污染之主因，致使全球氣候改變，最後學者亦發現全世界石油儲藏量已逐漸減少。基於以上原因，世界上各個國家皆積極開發新的替代能源，本文將探討甘蔗、甜高粱、玉米及甘藷等醣質與澱粉作物在臺灣及世界各國之栽培概況，並進一步探討作為能源作物之可行性，以作為我國發展能源政策之參考。

前　言

在過去幾十年來，臺灣之經濟發展一直是許多開發中國家學習榜樣，國民所得從 1990 年每人 8132 美元，2005 年每人國民所得上升為 15291 美元；但在這經濟成長過程中，能源需求量也節節上升，自 1990 年每人能源消耗量從 2.4 公秉，到 2005 年上升為 4.8 公秉；為促進經濟成長而過度使用能源亦為臺灣帶來負面的效果，每人 CO_2 排放量自 1990 年之 5.6 公噸，到 2005 年上升至每人 CO_2 排放量為 13.0 公噸（表一），根據統計臺灣溫室氣體排放量達全球百分之一，是世界第二十二名。另外臺灣是一個能源極度缺乏國家，進口能源在 1990 年為 93.4%，到 2005 年上升為 98.1%，其中石油進口量佔 51.3%，自主能源僅達 1.9%（表二）。有鑑於此，我國於 2006 年 6 月 20 日舉行全國能源會議，會中結議將於 2010 年減少 2,300 萬公噸 CO_2 排放量，2015 年減少 7,100 萬公噸 CO_2 排放量，2020 年減少 12,100 萬公噸 CO_2 排放量。並積極發展自主能源，其中 2010 年將推廣再生能源占總能源之 3-5%。

再生能源種類甚多，太陽能、風力、水力及廢棄物為大常提到的再生能源。從能源作物尋找新能源亦是可行之道，本文將探討甘蔗、甜高粱、玉米及甘藷等醣質與澱粉作物在臺灣及世界各國之栽培概況，並進一步探討作為能源作物之可行性，以作為我國發展能源政策之參考。

表一、自 1990-2005 臺灣地區之環境狀況及能源需求

項目	1990	1995	2000	2005
人口數	20,352,966	21,304,181	22,216,107	22,689,774
人口密度(人/平方公里)	565	592	617	630
GDP(百萬美元)	164,513	273,792	321,230	346,389
每人GDP(美元)	8132	12,906	14,519	15,291
車輛數(輛)	2,905,940	4,684,447	5,586,269	6,648,756
CO_2 排放量(million metric tons)	132.5	179.4	238.9	295.5
每人 CO_2 排放量(metric tons)	5.6	8.4	10.8	13.0
能源消耗量(10^3 KLOE)	49,665	66,630	87,270	107,939
每人能源消耗量(KLOE)	2.4	3.1	3.9	4.8

(資料來源:Tsai et al., 2007)

表二、自 1990-2005 臺灣地區能源需求結構及種類　　　單位:10^3 KLOE

項目	1990	1995	2000	2005
煤	13,682 (23.3%)	20,852 (26.2%)	32,658 (31.1%)	43,160 (31.9%)
石油	32,480 (55.4%)	43,251 (54.3%)	53,499 (50.9%)	69,449 (51.3%)
液態天然氣	941 (1.6%)	3646 (4.6%)	6382 (6.1%)	10,310 (7.6%)
天然氣	1304 (2.2%)	931 (1.2%)	739 (0.7%)	541 (0.4%)
水利發電	2034 (3.5%)	2206 (2.8%)	2203 (2.1%)	1965 (1.5%)
核能	8164 (13.9%)	8772 (11.0%)	9564 (9.1%)	9929 (7.3%)
總計	58,605 (100%)	79,658 (100%)	105,044 (100%)	135,354 (100%)
依賴進口能源比例(%)	93.4	95.8	97.1	98.1

(資料來源:Tsai et al., 2007)

醣質作物

一、甘蔗

甘蔗在植物分類學上屬於甘蔗屬 (Saccharum) 為禾本科中之一屬，原產於印度，性喜氣候變化大之環境，生育期中需要高溫多雨，以充分發揮其營養體的生長；成熟期則必需低溫乾燥，以利糖分累積，因此世界上主要產糖區皆為乾期與雨期明顯之地區。臺灣中南部主要種植甘蔗地區，冬季東北季風來臨為乾期，而夏季西南季風來臨為雨期，極適合種植甘蔗。

臺灣甘蔗栽培歷史極為悠久，臺灣糖業公司一直是臺灣糖業主要經營單位，在 1960-1980 年間栽培面積一直維持 100,000 公頃左右，自 1980 年以後隨著國際糖價下跌，臺糖為維持公司之營運，開始進行多角經營策略，甘蔗面積也開始逐漸減少，糖之生產量由 1980 年之 829, 639 公噸，到 1999 年下降至 276,409 公噸，而副產品 95% 酒精維持在 25 萬公秉左右 (表三)。而臺糖生產之甘蔗在生育 14 個月下公頃產量為 80-90 公頃，相當於大約年公頃產量為 73 公噸，糖濃度為 16-18%，酒精生產量為 5,000-6,000 公升，約可生產 300 GJ 之能源 (Tsai et al., 2007；楊等, 2006)。

巴西是世界上利用甘蔗生產、消費及輸出汽油酒精主要國家，種植面積為 550 萬公頃，而所生產之甘蔗每噸可產生 138 公斤之葡萄糖及 145 公斤之蔗渣，而 138 公斤之葡萄糖可生產 112 公斤蔗糖或 72 公升之酒精，目前所生產之甘蔗一半用於製糖，另一半用於製造酒精。印度為世界上第二生產

國，種植面積為436萬公頃，2005年甘蔗生產量為23,232萬公噸，目前印度為燃料酒精進口國，其酒精生產量為200萬公秉 (Moreira and Goldemberg, 1999)。

表三、自1980-1999年台糖生產糖及其副產品

年代	糖(噸)	副產品 (公秉)		
		糖蜜	蔗渣	酒精
1980	829,639	240,021	1,725,850	23,600
1985	662,030	215,464	1,488,450	28,351
1990	475,346	188,881	1,258,671	23,616
1995	408,093	148,935	1,021,477	28,726
1999	276,409	108,069	795,342	28,377

(資料來源:Tsai et al., 2007)

二、甜高粱

甜高粱為C4作物，學名為Sorghum bicolor L. Moench，原產地為東非，其後再傳播至整個非洲、亞洲、歐洲、澳洲及美國各地。甜高粱為極度耐旱作物，種子能夠在旱季休眠以等待雨季來臨，依據不同品種及栽培條件，其株高可長到120-400公分，故能被種植在氣候條件惡劣地區。甜高粱全株皆可利用，種子可食用或作為飼料，而莖稈除可作為青芻飼料或煉製糖蜜 (syrup) (Nguyen and Prince,1996)。依據Gnansounou et al., (2005) 估算每公頃甜高粱可生產 1900 公升之糖蜜，但在生長條件差下僅能得到 800-1,200 公升之糖蜜；但因甜高粱產生之糖蜜純度不夠，結晶較困難，故製糖價值不高；若轉作為酒精用途，則具有極佳之潛力。

一般而言，甜高粱全年皆可種植，春作以三月種植最佳，夏作以四-五月種植最佳，秋作以七-八月種植最佳，但不同品種及不同栽培期之產量及含糖量差異極大，其中以春夏作種植最佳，每公頃莖稈產量達35公噸以上，而秋作僅約19公噸左右。Gnansounou et al., (2005) 以4個甜高粱品種於中國遼寧省種植，其中品種Tianza No.2之鮮莖稈產量每公頃為52.1公噸最高，其於品種皆在47-50公噸之間；而榨汁率以Wray、Tianza No.2較高，分別為 65.4 及 65.3% ；而糖度以 Keller 之 19.5^{0}BX 最高，其餘品種分別在 16-19^{0}BX之間；子實產量以Tianza No.2最高，每公頃可生產5公噸 (表四)。

表四、不同甜高粱品種之性狀

	品種			
	Keller	Wray	Rio	Tianza No.2
鮮莖稈產量 (公噸/公頃/年)	49.5	49.8	47.4	52.1
榨汁率(%)	62.2	65.4	59.0	65.3
糖度(^{0}BX)	19.5	18.5	17.5	16.1
子實產量(公噸/公頃)	2.8	1.8	3.4	5.0

Mamma et al., (1994) 將甜高粱品種 Kelly 收穫後，以 70 bar 之壓力壓榨鮮莖桿成汁液及壓縮莖桿塊，再比較鮮莖桿、壓榨汁液及壓縮莖桿塊之成分，結果發現鮮莖桿及壓縮莖桿塊水分含量最多分別為 67.2 及 55.8% ；而糖分主要為蔗糖，鮮莖桿及壓縮莖桿塊分別含 14.8 及 8.7%，而壓榨汁液含 19.9%，另外三者葡萄糖含量皆不高，其餘成分包含纖維素、半纖維素及木質素 (表五)。而將壓榨汁液及壓縮莖桿塊分別以 1 種及 2 種菌種發酵後，分別在 100 公克之鮮莖桿下製成 4.8 及 5.1 公克之酒精。

表五、甜高粱鮮莖桿、壓榨汁液及壓縮莖桿塊 (press cake) 之成分組成

成分	鮮莖桿	壓榨汁液	壓縮莖桿塊
水分 (%)	67.2		55.8
蔗糖 (%)	14.8	19.9	8.7
葡萄糖 (%)	1.5	1.9	1.0
纖維素 (%)	6.4		12.3
半纖維素 (%)	5.0		9.7
木質素 (%)	4.6		8.8

農試所於 94 年引進美國 7 個甜高粱種原，進行繁殖與觀察，甜高粱於 94 年 7 月初育苗，7 月 16 日移植至田間，9 月 5 日（移植後 50 天）開始取樣調查，結果如表 6 及 7。7 個觀察品系株高都已超過 150 ㎝，莖徑約 1.9～2.5 ㎝，莖桿基部、中間間先端段固形物差異不大。移植後 107 天調查結果如表 7，株高 （含結實穗） 超過 230 ㎝，汁液固形物 (Brix） 含量以 SOR007、SOR004 及 SOR003 較高，達 18% 以上。生育期間固形物含量變化如圖一 ，

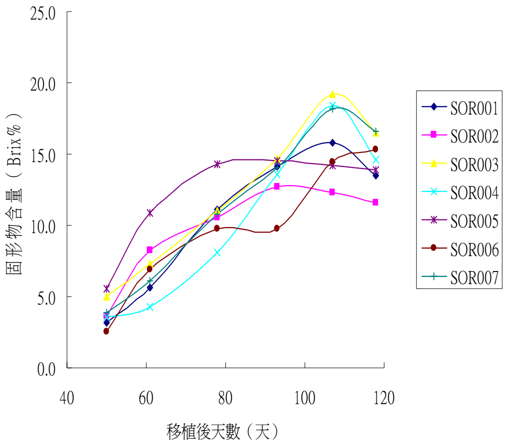
其中 SOR002 及 SOR005 在移植後 93 天達最高，分別為 12.7 及 14.6%，應該屬於早熟品種系（以莖桿為採收標的），其餘品系固形物含量最高值則表現於移植後 107 天。生育期間之單株固形物產量（汁液重×固形物含量）變化如圖二，以 SOR004 含量最高。

表六、移植後 50 天莖桿產量及固形物含量調查

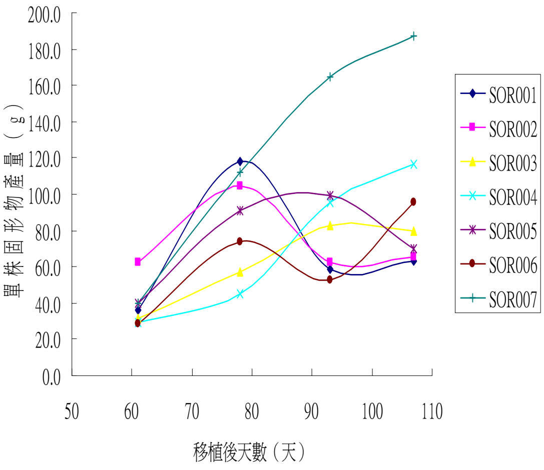
品系	株高（cm）	莖徑（mm）	莖桿總重（g）	分蘖數	Brix（%）			
					基部	中間	先端	平均
SOR001	155.4	25.72	1,491	4.8	3.1	3.2	3.2	3.2
SOR002	171.8	23.01	1,600	4.6	3.6	3.5	3.9	3.7
SOR003	186.8	20.71	1,140	4.4	5.1	4.8	5.1	5.0
SOR004	164.6	22.06	1,338	4.2	3.7	3.3	3.9	3.6
SOR005	189.8	19.13	1,154	4.6	5.5	5.2	5.8	5.5
SOR006	166.6	19.21	1,534	6.8	2.8	2.3	2.5	2.5
SOR007	150.4	22.39	1,350	4.6	4.2	3.6	3.9	3.9

表七、移植後 107 天單株莖桿固形物含量及產量調查

品系	株高（cm）	莖徑（mm）	莖桿總重（g）	汁液重（g）	榨汁率	Brix（%）	固形物產量（克/株）
SOR001	255.4	23.93	1,046	402	38.4%	15.8	63.52
SOR002	237.8	17.49	1,212	532	43.9%	12.3	65.65
SOR003	273.6	21.10	1,168	416	35.6%	19.2	80.04
SOR004	320.6	17.98	1,472	634	43.1%	18.4	116.91
SOR005	230.6	18.15	1,112	494	44.4%	14.2	70.05
SOR006	304.4	23.58	1,574	662	42.1%	14.4	95.59
SOR007	264.0	22.43	2,256	1030	45.7%	18.2	187.05



一、甜高粱品系生育期間之固形物含量變化。



圖二、甜高粱品系生育期間之單株固形物產量變化。

95 年度春作挑選其中 2 品系於臺南學甲地區進行試種，高產品系 SOR004 產量估算可達 60 公噸/公頃，單次榨汁率約 40%，汁液 Brix 16%，預估可轉換 2000 公升酒精/公頃，其殘渣纖維約 17 公噸/公頃，約可轉換 4700 公升纖維酒精（表八）。

表八、甜高粱地上部取樣調查

品系及取樣日期	莖桿及葉片鮮重（g）^{z}	汁液重（g）	榨汁率（%）^{y}	固形物含量 Brix(%)	渣鮮重（g）	渣乾重（g）	渣含水率（%）	穗重（g）
SOR004-2006 年 6 月 15 日	2364.31	784.71	33.23	11.78	1579.60	-	-	144.07
SOR004-2006 年 6 月 28 日	7777.23	3106.83	39.95	16.05	4670.00	2040.00	56.20	252.20
SOR005-2006 年 6 月 15 日	1114.63	432.91	38.57	13.65	681.72	-	-	113.10
SOR005-2006 年 6 月 28 日	4328.09	1682.71	38.88	16.90	2645.00	1005.00	62.11	271.70

^{Z}：取樣點 2M 長，行距 0.6M。

^{Y}：採用三軸式小型榨汁機。

澱粉作物

一、玉米

玉米為禾本科，為世界上最重要之糧食及飼料作物。在 1955 年以前臺灣玉米年產量約 10,000 公噸，可以自給自足。其後經濟結構發展發生改變，臺灣開始往畜牧業發展，玉米作為飼料之需求增加，因臺灣種植玉米面積不足，開始由國外大量進口。1984 年起實施稻田轉作計畫，玉米栽培面積開始快速成長，1982 年種植面積為 39,110 公頃，1988 年達最高為 82,183 公頃，其後面積開始下降，至 2005 年為 21,150 公頃 (表九) 。臺灣玉米生產可於裏作、一期作及二期作進行，可分成食用玉米及飼料玉米兩種，以 1991 年為例，飼料玉米在裏作、一期作及二期作分別種植 52.6、24.4 及 3.4%，其中以雲林縣之 5089 公頃最多，佔 34.5%；而飼料玉米在裏作、一期作及二期作分別為 52.6、24.4 及 23.0%，其中以臺南縣之 18531 公頃最多，佔 30.0%。玉米成分主要以澱粉為主，在乾燥完整玉米粒中澱粉含量為 73.4%，蛋白質含量為 9.1%，糖含量為 1.9% (盧, 1994)。

美國為世界上第二大酒精生產與消費國家，僅次於巴西。美國液態生質燃料以生質酒精為主，主要原料為玉米，美國酒精用玉米的消費近幾年增加非常快，酒精生產消費的玉米量已經超過了澱粉行業，成為美國工業用玉米消費的主體。 燃料酒精將成為未來玉米酒精加工的主要方向(Gulati et.al., 1996；Kwiatkowski et al., 2006；Rask, 1998；Solomon et al., 2007)。

表九、臺灣玉米生產概況

年代	總計		
	收穫面積(公頃)	公頃產量(公斤)	產量(公噸)
1982	39,110	3,028	118,419
1985	61,636	3,667	226,010
1990	81,369	4,172	339,436
1996	73,099	6,104	395,412
2000	30,283	5,995	178,315
2005	21,150	6,084	133,653

(資料來源:臺灣農業年報)

二、甘藷

甘藷在植物學分類上為旋花科 (convolvucaceae)，甘藷屬 (Ipomoea)，原產地是以墨西哥為中心的熱帶美洲。據臺灣文獻記載在17世紀初，明末荷蘭占領臺灣時期，由福建傳入臺灣栽培，距今已有400多年歷史。臺灣位於

熱帶和亞熱帶之間，環境條件適合甘藷生長，又具有食糧、輔食糧、飼料、工業及食品加工用等用途，加工及生產較其他食糧作物高，故甘藷成為臺灣主要食量作物之一。臺灣甘藷栽培面積及生產量，據臺灣農業年報統計，在民國 35 年以後至民國 62 年各年間，因農村多以甘藷為養豬的主要飼料，生產和需要量很大，栽培面積保持在 20ㄧ24 萬餘公頃，年生產量為 200ㄧ340 餘萬公噸，是臺灣甘藷生產和利用上最高峰的時期。但自民國 62 年以後，養豬事業逐漸趨向企業經營，又因家畜飼養方法的改善，甘藷作為飼料用途逐漸為進口玉米所替代，以致甘藷需要量銳減，故栽培面積及生產量逐年大幅減少。目前甘藷則以食用、食品加工用及葉菜用為主要用途。據民國 94 年農業年報統計，全臺灣省栽培面積為10,231公頃，年生產量為 21萬3仟餘公噸，臺灣甘藷種植面積已開始上升 (表十) 。臺灣甘藷之栽培遍及各縣市，以中南部的雲林、臺南、屏東、高雄及嘉義縣等地區栽培最多，東部之花蓮及臺東縣等地區為最少。臺灣甘藷栽培季節可分為春作 (即一期作，2～4月種植)、夏作 (即二期作，5～7月間種植)、秋作 (8～9月間種植) 及裡作或晚秋作 (10～11月間種植)，以秋作及夏作種植者最多，春作種植者最少 (李1994)。甘藷塊根主要含有澱粉，在秋裡作每公頃塊根產量約 30 公噸以上，每公頃生產酒精量為 3,750 公升以上。

表十、臺灣甘藷生產概況

年代	總計		
	收穫面積(公頃)	公頃產量(公斤)	產量(公噸)
1945	135,000	8,700	1,165,000
1960	224,000	12,700	2,979,000
1980	62,000	16,900	1,055,000
1990	12,000	17,000	200,000
2000	9,331	21,314	197,837
2005	10,231	20,918	21,991

(資料來源:臺灣農業年報)

95 年度農試所嘉義分所執行農糧署委託之計畫，以種植甘藷進行「生質酒精小型量產計畫與成本分析」，分別於義竹鄉、水林鄉及新化鎮等三地預計各種植約10 公頃，並以臺農 10 號、17 號、31 號、57 號及 66 號進行不同時期的種植及生產成本的評估，所採收之甘藷運送至臺灣菸酒公司屏東酒廠及臺灣糖業公司利用濕

甘藷產製生質酒精，試驗結果顯示在義竹鄉種植之春作甘藷生產成本為每公頃63,690元，每公斤甘藷生產成本為8元；在水林鄉種植之秋作甘藷生產成本為每公頃85,579元，每公斤甘藷生產成本為2.4元；臺灣菸酒公司屏東酒廠利用甘藷作為原料，估算其產率為2.8公秉/公頃，生產成本為43~45元/公升，而臺糖公司利用甘藷產製酒精，其成本為27.5元 (表十一)，兩者差異極大。

表十一、臺糖公司利用甘藷產製酒精之成本評估

項目	成本(元/公升)
淨原料成本	23.44
操作成本(包括：能源、化學品、保養、經常費用、稅金與保險、其他費用及管理費	4.06
合計	27.5

巴西發展酒精能源成功的故事

巴西是世界上最大的甘蔗、糖和酒精生產國，同時亦是使用生質能源比例最高的國家。巴西發展酒精作為生質能源亦歷經了不同階段興盛、衰竭、後又復興的艱難歷程，目前已被世界公認為酒精生產和出口第一大強國，佔全球酒精總產量（約400億升）的三分之一強，佔全球酒精貿易量（約40億升）的50%。事實上巴西從1925年已開始進行在汽油中摻加酒精的試驗工作，但最初僅是小規模的試驗階段，到1973年中東戰爭阿拉伯國家對西方的石油禁運引發世界第一次石油危機，到1974年1月分國際市場上的石油價格從1973年12月份時的每桶3美元暴漲到12美元，巴西因進口石油外匯由1972年時的4.89億美元猛增到1974年時的28.4億美元，相當於當年外債總額的16% (Rosillo-Calle and Cortez,1998)。當時聯邦政府(1964-1985年) 有鑑於此，於1975年11月14日成立“全國酒精計劃（Proálcool）”(Moreira and Goldemberg, 1999)，在此計畫下，政府補貼農民開始大量種植甘蔗，給予投資設立酒精工廠所得稅減額，鼓勵汽車製造業重新設計適合酒精為燃料之汽車引擎，政府提供經費建立巨大分銷網路，使酒精燃料順利到達加油站；同時維持低價酒精以鼓勵消費者使用，政府亦要求石油公司所生產汽油必需混合酒精。在政府及民間共同努力下，在1980年無水酒精及有水酒精銷售量分別為2萬253公秉及約429公秉，1985年增加至202萬公秉及593萬公秉，1996年達395及977萬公秉(表十二)。

另外巴西自 1979 年第一輛無水酒精汽車問世後，1980 年酒精汽車在市場佔有率為 27%，1985 年更達成 95.8% 之酒精汽車佔有率（表十三）；但 1989 年以後政府遇到財政困難，難以維持對酒精生產的補貼，行業生產性投資減少，酒精生產量減少，1989 年 1 月份，酒精和汽油的價格分別上調 30.48 ％和 19.88％，兩者的價差由 31％ 減少到 25％，同時出現酒精供應短缺問題，使得酒精汽車之數量大幅度減少，1996 年酒精汽車佔有率僅為 0.8%（表 13)；從 2002 年開始，巴西加大了酒精生產的投入和利用技術的開發，使酒精車的銷售在當年微增到 4.1%。特別是在 2003 年 3 月份巴西大眾汽車公司率先開發出可單獨使用汽油或酒精、或兩種燃料混用的多功能引擎汽車，隨後，巴西通用汽車公司、福特公司、菲亞特汽車公司也相繼加入了多功能引擎車的市場競爭，這樣給消費者多提供一種選擇的權利，即在一種燃料短缺或價格不能接受的時候，可以選擇另外一種燃料。截至 2005 年 10 月份的統計，國內市場銷售的汽油、酒精雙燃料汽車從 2006 年 5 月份開始已連續 6 個月超過汽油汽車（Rivera, 2006)。

表十二、自 1975-1996 巴士國內汽油、無水酒精及有水酒精銷售量

年度	汽油(10^3 公升)	無水酒精(10^3 公升)	有水酒精(10^3 公升)
1975	14,618,813	0	0
1980	13,690,912	2,253	429,179
1985	9,721,127	2,120,764	5,932,015
1990	10,123,512	1,217,548	10,211,578
1995	15,882,244	3,525,312	9,889,615
1996	19,508,504	3,959,643	9,772,097

(資料來自: Rosillo-Calle and Cortez, 1998)

表十三、自 1975-1996 巴西國內石油汽車及酒精汽車銷售量

年度	石油汽車(台)	酒精汽車(台)	酒精汽車佔有率(%)
1975	778,920	0	0
1980	626,467	240,638	27.0
1985	28,653	645,551	95.8
1989	26,082	397,734	60.4
1990	542,740	81,650	13.1
1996	1,585,000	12,000	0.8

(資料來自: Rosillo-Calle and Cortez, 1998)

至今巴西已成為全球最大酒精生產、消費及輸出國，2004 年與 2005 年燃料酒精生產量分別為 1,540 萬公秉及 1,680 萬公秉，預估 2010 年可達 2,600 萬公秉。2005 年所生產之酒精中 1,430 萬公秉供應巴西境內所需，其餘 250 萬公秉外銷。目前巴西有 320 座糖/酒精生產工廠，興建中有 51 座(Rivera, 2006)。巴西之全國酒精計劃在經歷近 30 年發展後，已產生多項具體成就，現就其中幾項已被世人認同之成果來詳加說明:

一、農業及工業上之成就

由於巴西政府全力投入甘蔗之種植，有關甘蔗新品種之研發、栽培管理之改良、酒精生產技術改良等皆獲得重大成果。甘蔗每公頃收穫量從 1985 年之 79 公噸至 1993 年之 85 公噸 (Moreira and Goldemberg, 1999)，而酒精生產量亦由每公頃生產 2400 公升增加至每公頃 5000 公升 (Moreira and Goldemberg, 1999)，而在農業生產成本下降 19.0%，酒精生產成本下降 6.4% (表十四)。另外甘蔗種植及酒精生產提供約 100 萬個直接及 50 萬個間接就業機會，大大的降低巴西國內之失業率 (Moreira and Goldemberg, 1999)。

表十四、酒精生產之生產成長降低量

項目	降低量(%)
甘蔗生產(農業部分)-包括品種改良、肥料施用、雜草防治等	19.1
酒精生產(工業部分)-包括發酵、能源等	6.4

(資料來自: Moreira and Goldemberg, 1999)

二、對環境上之影響

1980 年以前巴西車輛使用汽油作為燃料，一氧化碳 (CO) 排放量高達 54 g/km，1980 年以後開始使用汽酒精油 (gasohol) 或酒精作為燃料，一氧化碳排放量開使大幅度下降，1990 年使用車輛汽酒精油 (gasohol) 及酒精之一氧化碳排放量分別下跌至 13.3 及 10.8 g/km，到 1995 下跌至 4.7 及 4.6 g/km，其他廢氣排放量亦極速下跌 (表十五)。

而種植甘蔗對二氧化碳減量亦有明顯影響，表十六顯示巴西種植甘蔗每年所生產甘蔗製成酒精以取代石化石油每年可減少 913 萬公噸之二氧化碳；而種植甘蔗以吸收二氧化碳，每年可減少 899 萬公噸之二氧化碳。總計種植甘蔗以生產能源酒精每年可減少 1,798 萬公噸之二氧化碳，對環境保護之貢獻甚大 (表十六)。

表十五、巴西輕型車輛使用汽油及汽酒精油 (gasohol) 後廢氣排放量

年代	油種類	廢氣排放量(g/km)			
		CO	HC	NO_X	Aldehydes
1980 之前	汽油	54	4.7	1.2	0.05
1986	汽酒精油	22	2	1.9	0.04
1986	酒精	16	1.6	1.8	0.00
1990	汽酒精油	13.3	1.4	1.4	0.04
1990	酒精	10.8	1.3	1.2	0.11
1995	汽酒精油	4.7	0.6	0.6	0.025
1995	酒精	4.6	0.7	0.7	0.042

(資料來自: Moreira and Goldemberg, 1999)

表十六、巴西全年甘蔗生產之淨 CO_2 釋放量

項目	釋放量 (10^6ton carbon/year)
農用能源	+0.82
甲烷釋放量(甘蔗燃燒)	+0.04
N_2O 釋放量	+0.15
蔗渣取代石油(食品及化學工業)	-0.87
酒精取代石油	-9.13
甘蔗 CO_2 吸收量	-8.99

(資料來自: Moreira and Goldemberg, 1999)

三、對國家財政方面

巴西自 1976 年開始使用酒精取代石化石油作為車輛能源，至 1996 年共使用 141329 萬公秉之酒精，共節省約 255 億美元之外匯 (Moreira and Goldemberg, 1999)，對財政困難之巴西政府而言，酒精能源之發展帶來極大之助益，也使巴西不受世界能源危機之影響，而能獨立自主地發展國內經濟。

結　語

經濟發展一直被認為國家發展成功與否之指標，而能源是否能夠充分供應對經濟發展具有重大影響力，石油為世界上各國使用最多的能源，大約佔所有能源供應量之 37%。但對許多國家而言，大部分之石油皆仰賴進口，而所進口之石油大部分 (約 30%) 來自政治動蕩之中東波斯灣國家，而且所進口之石油常常成為各國貿易逆差之主要因素；另外燃燒後之石油所釋放出之二氧化碳造成空氣污染之主因，致使全球氣候改變，最後學者亦發現全世界石油儲藏量已逐漸減少。基於以上原因，世界上各個國家皆積極開發新的替代能源，酒精作為新能源已被美國、巴西、中國、俄羅斯等十個國家採用，而美國、巴西為採用酒精作為新能源之前二名領先國家 (Solomon et.al., 2007)；反觀臺灣，尋求新替代能源僅是起步階段，但以我國超過 98%以上之能源皆仰賴進口，故發展新能源政策為當務之急。至於發展何種新能源？酒精是否為適當新能源？皆需要進一步加上研究。

參考文獻

李良。1994。甘藷、雜糧作物各論Ⅲ根及莖類。pp.1329-1477. 臺灣省區雜糧發展基金會 臺北。臺灣。

楊金興、林俊義、陳甘澍、賴瑞聲、劉新裕、賴永昌。2006。適合臺灣栽培之能源作物的研究方向。生物技術與綠色農業研討會專刊。行政院農業委員會農業試驗所特刊 127 號 pp.37-56。

盧煌勝。1994。玉米、雜糧作物各論Ⅰ.禾穀類。pp.169-330. 臺灣省區雜糧發展基金會 臺北。臺灣。

Gnansounou,E. , A.Dauriat, and C.E.Wyman. 2005. Refining sweet sorghum to ethanol and sugar : economic trade-offs in the context of North China. Bioresource Technology 96:985-1002.

Gulati,M. , K.Moholmann , M.R.Ladisch , R.Hespell and R.J.Bothast. 1996 . Assesment of ethanol production options for corn products. Bioresource Technology 58:253-264.

Kwiatkowski , J.R. ,A.J.Mcaloon , F.Taylor and D.B.Johnston. 2006 . Modeling

the process and costs of fuel ethanol production by the corn dry-grind process.Industrial Crops and Products 23:288-296.

Mamma, D. ,P.Christakopoulos, D.Koullas , B.J.Macris and E.Koukios. 1995 . Alternative approach to the bioconversion of sweet sorghum carbohydrates to ethanol. Biomass and Bioenergy 8(2):99-103.

Moreira,J.R. and J.Goldemberg. 1999. The alcohol program.Energy Policy 27:229-245.

Nguyen,M.H. and R.G.H.Prince. 1996. A simple rule for bioenergy conversion plant size optimization:bioethanol from sugar cane and sweet sorghum.Biomass and Bioenergy 10:361-365.

Rask,K.N. 1998. Clean air and renewable fuels:the market for fuel ethanol in the US from 1984to1993.Energy Economics 20:325-345.

Riveras,I.,「US may learn from Brazil ethanol sector？analysts」,February 3,2006.(Available in http:planetark.com/dailynewsstory.cfm/newsid/34851/story.htm),2006.

Rosillo-Calle, F. and L.A.B.Cortez. 1998. Toward proalcool Ⅱ-A review of the brazilian bioethanol programme. Biomass and Bioenergy 14:115-124.

Solomon, B.D., J.R.Barnes and E.Halvorsen. 2007. Grain and cellulosic ethanol:History , economics ,and energy policy. Biomass and Bioenergy 31:416-425.

Tsai,W.T. , H-F.Lan and D-T.Lin. 2007 . An analysis of bioethanol utilized as renewable energy in the transportation sector in Taiwan.Renewable and Sustainable Energy Review:1-19.

生質能源副產物之開發

吳永培 柯佩怡

行政院農業委員會農業試驗所嘉義分所

摘　要

本文主要針對生質能源副產物之開發概況做介紹，包括1.玉米生質酒精副產物的開發。2.甘藷生質酒精副產物的利用。3.稻米生質酒精副產物的開發。4.甘蔗及油料能源作物副產物的開發等四個課題進行歸納與整理。其中1.玉米生質酒精副產物的開發係針對乾燥玉米酒粕的利用、玉米油副產物的利用、玉米酒糟廢液的利用等利用情形加以整理；2.甘藷生質酒精副產物的利用則就國內甘藷製酒後副產品的開發結果，諸如甘藷酒粕美顏皂、甘藷酒粕面膜及甘藷酒粕醬油等產品概況逐一介紹；3.稻米生質酒精副產物的開發介紹米糠油的開發、米糠副產物的開發、米蛋白的開發、乾燥米酒粕、可溶性固形物和沼氣的利用、米香胚美容皂副產品的開發、酒粕美顏皂副產品的開發及米酒粕面膜膏副產品的開發；4.甘蔗及油料能源作物副產物的開發則以甘蔗副產物的利用及生質柴油副產物的利用進行討論。期能透過生質能源製造過程中副產物的利用概況介紹，啟發國人對生質能源副產物利用的重視，研製高附加價值的產品，進而降低臺灣能源生產成本偏高的缺點，建立屬於國人生質能源生產的有效策略。

前　言

自工業革命以來，由於石油提供了工業廉價之燃油，使得工業快速發展，人類生活及交通獲得大幅的提昇，唯全球每天需消耗約 8 千萬桶的石油，使得原油日漸枯竭，急需尋找替代能源，以因應未來能源缺乏所造成的危機。根據國際能源總署的統計目前全球能源主要來自石油 (35%)、天然氣 (21.2%)、核能 (6.9%)、煤礦 (23.4%) 及再生能源 (13.5%) 等，其中石油的蘊藏量預估在 41 年內便會開採用盡，而天然氣、煤礦及鈾礦雖然情況稍佳，但仍有用盡之時。所以目前世界各國無不竭盡全力積極開發可以替代石油的其他能源，而生質能源為當前最具潛力的再生能源。再生能源中又以能源作物為可以永續經營的能量來源，是未來生質能源利用推廣上的主要目標。

目前國外澱粉及醣類生質能源生產成本如表一所示，歐美生產成本相較中國大陸低，其中以甘蔗 (巴西) 的生產成本最低，每公升燃料酒精生產僅需 6.6 元，而美國中西部的玉米燃料酒精生產成本需要 11 元，而歐洲以剩餘或陳年庫存之小麥生產燃料酒精約需 15.9 元，而產量及栽培面積較大的甜菜

用於燃料酒精生產的成本最高，約需 17.3 元；至於中國大陸以甜高粱的生產成本 11.2 元/公升最低，而甘蔗及木薯需 14.2 元/公升 則次之，玉米需 19 元又次之，而以早秈稻及陳年庫存米為原料，就原料成本需 21 元/公升最高。由成本分析顯示生質酒精之生產成本因生產地點及作物不同，其差異相當大，未來臺灣宜慎選作物及生產方式，方能提升燃料酒精生產的經濟效益。

表一、國外澱粉及醣類生質能源生產成本摘要表

歐　美		中國大陸	
項目	成　本	項目	成本
玉米(美國)	11 元/公升	玉米及小麥	19 元/公升
甘蔗(巴西)	6.6 元/公升	甘蔗及木薯	14.2 元/公升
小麥(歐洲)	15.9 元/公升	甜高粱	11.2 元/公升
甜菜(歐洲)	17.3 元/公升	稻米	21 元/公升

國內甘藷及水稻生質能源生產成如表二所示，其中甘藷 1 公斤生產成本約需 4 元，8 公斤甘藷可生產 1 公升燃料酒精，每公頃甘藷可生產 3,750 公升之燃料酒精，而生產 1 公升甘藷酒精原料成本約需 32 元；而水稻 1 公斤生產成本約需 14 元，2.5 公斤稻米可生產 1 公升燃料酒精，每公頃稻米可生產 2800 公升之燃料酒精，而生產 1 公升稻米酒精原料成本約需 35 元，由於生產分析結果可知國內生質酒精生產成本相較歐美及中國大陸均高出許多，顯示國內由於耕地面積、方式及作物別的不同，使得生產成本相對較高。然由於過去甘藷及水稻的研究與栽培均以鮮食為目的，不論是品種、栽培管理方法及收穫後處理均在高品質的要求下，造成生產成本居高不下，未來若能發展能源甘藷及能源水稻 (高直鏈澱粉的秈稻)等高產品種，配合採行省工栽培模式來降低 50% 左右的生產成本，如此國內生質酒精的發展仍是具有相當高的可行性。

表二、國內甘藷及水稻生質能源生產成本摘要表

項目	甘藷	水稻
原料成本	4 元/公斤	14 元/公斤
料源比率	8 公斤/公升	2.5 公斤/公升
公頃產能	3750 公升	2800 公升
公升成本	32 元/公升	35 元/公升

臺灣由於地狹人稠，可耕作面積相當有限，單位生產成本亦偏高，未來宜積極降低生產成本，提升國內生質能源產業的競爭力，因應未來替代能源發展所需，而生質能源降低成本主要可經由 1.生產設備改良及生產技術提升。2.品種改良及栽培技術提升。3.副產物的開發與利用三個方面著手，其中以農業領域應積極著墨於品種改良、栽培技術提升及副產物開發二項上。如利用高產、高糖分、高油分、生育期短、抗病蟲性高且適應廣的品種改良及栽培技術的提升是降低成本很重要的關鍵。唯國內生質能源的研究與生產起步相對較晚，因此有關生質能源副產物的開發與利用的研究報告幾乎蹶如，而國外對生質能源研究上亦僅強調能源轉換效率、技術及設備等相關課題，對於副產物的利用僅著重於降低環境污染及能大量處理消耗副產物的庫存等，甚少針對副產物的營養價值及利用性深入研究開發，造成相當的資源浪費。臺灣由於能源作物生產成本偏高，如能有效利用生質能源副產物，對生產成本的降低將助益良多 (林，2005)。

生質能源副產物之開發不但可以增加資源利用效率，減少有用資料的浪費，開發有用副產品，更可以增加收益，進而降低能源生產成本，提升市場競爭力，尤其是目前能柴油及酒精源生產過程均拌隨榨油後之植體廢渣、酒糟 (粕) 及醱酵廢液產出，由於數量相當龐大，若未妥善處理及利用，將對環境造成重大污染，為了減少環境污染，宜積極進行廢棄物的副產物的開發。

臺灣生質能源的開發朝向生質柴油及生質酒精，用於生質柴油生產之作物諸如大豆、向日葵、油菜等油料作物，而生產酒精之能源作物大致為甘藷、水稻、木薯、甘蔗及甜高梁等澱粉類及糖料類作物，這些作物在生質能源的生產上主要以醱酵技術或以酵素將澱粉及糖分轉換成酒精，因此過程中應會

產生大量的酒粕及醱酵廢液等副產物。本文內容主要針對玉米、甘藷、水稻及生質柴油上等生質能源副產物的利用情形進行介紹。

玉米生質酒精副產物的開發

一、乾燥玉米酒粕的利用

近年來美國將大量的玉米導向酒精生產，導致玉米及其生產土地價格上揚，雖然目前尚未出現顯著的供需失衡現象，但未來的趨勢仍需要仔細觀察，目前美國中西部是玉米酒精主要產地，當地大部分生質酒精工廠均以乾式輾磨法生產酒精，而含可溶物乾燥玉米酒粕 (Distiller's Dried Grain with Soluble, DDGS) 是生產玉米酒精的副產物。在乾式輾磨的過程中，平均每 1 公噸的玉米可以產生 304 公斤（419 公升）的酒精、304 公斤的二氧化碳和 304 公斤的 DDGS。而因含可溶物乾燥玉米酒粕的產生必定拌隨著酒精產量的增加而增加，因此 DDGS 的產量和燃料用酒精的產量關係密切；2005 年美國含可溶物乾燥玉米酒粕的預估產量為 700 萬公噸，但實際生產量為 830 萬公噸，較原先預估產能高出許多；而預計 2015 年美國含可溶物乾燥玉米酒粕生產量將達到 2,500 萬公噸。DDGS 產量逐年遞增，在用途上目前以飼料利用為主，是相當優質的蛋白質飼料 (張和王，1998)，而如此巨大的產量將成為飼料的未來明星，且由於大量玉米原料流入生質酒精製造利用，勢必衝擊飼料和畜產業玉米原料的來源，而充分利用 DDGS 取代玉米原料的研究將是未來重要的課題 (陳，2006；Shurson, 2003)。

由於玉米澱粉在發酵過程幾乎完全被轉換成酒精，只有約三分之一的乾物質會殘留在副產品中，因此就營養成分而言，顯著的提高了三倍左右。不過由於 DDGS 會因玉米澱粉在發酵過程被分解的程度不同，醱酵中可溶物回加酒粕的比率及乾燥過程等不同，其營養成分有顯著的差異， Harty 等人 (1998)在美國中西部九個燃料用酒精生產廠長期的採樣分析結果顯示，不同工廠所生產的 DDGS 營養成分有顯著的差異，因此如何確保或穩定 DDGS 的品質表現，將成為未來玉米酒精生產副產物利用性的影響關鍵，一般而言，DDGS 含有約 87% 以上的乾物質，其中有約 30% 以上的粗蛋白 (郭和王，2005；陳，2006)，10% 左右的脂肪及大量的纖維成分 (NRC 1989; NRC 2001)。而 DDGS 中的粗蛋白是反芻動物很好的蛋白質與能量來源 (Larson, 1993; Lodge et al., 1997a; Lodge et al., 1997b)，脂肪及纖維的消化率亦相當高 (Chen et al., 1999; Schingoethe et al., 1999)，因此 DDGS 不但可提供反芻動物優質的飼料來源，取代完全混合日糧中部分的大豆粕、玉米粉、蒸煮壓片玉米、和烘焙全脂豆粉等，提供作為飼育乳牛利用 (陳，2006； Linn and Stock, 1996)。另外在供應豬 (王和周，1997)、家禽、狗及魚的飼料應用 (楊和秦，

2003) 上亦不錯的效果，唯須根據不同的動物特性與酒粕的營養成分差異，搭配適當的其它物料配方及比率，如此方有較佳的效益出現。

二、玉米油副產品的開發

玉米油是玉米原料生產酒精的副產品之一，目前常利用兩種方法進行，一是從玉米原料中將胚芽取出，再從胚芽中壓榨萃取出油脂來，另一種方式則是從蒸餾後的玉米酒粕中利用溶劑浸出玉米毛油，最後再進行玉米油的精製 (孫，1998；劉，2005)。玉米油主要做為食用油利用。

三、玉米酒糟廢液的利用

玉米酒糟廢液經過濾或離心分離後，其酒糟液中仍有大量的有機物存在，利用適當菌種進行厭氧的沼氣醱酵，可生產沼氣供發電及燃料使用，而醱酵後的沼氣廢液中仍含有多種植物生長所需的養份，若經氧化處理後，可提供作為農作物施肥及灌溉利用 (韓等，1993；隋等 1995)。

甘藷生質酒精副產物的開發

臺灣地處熱帶和亞熱帶之間，環境相當適合甘藷生長，因此甘藷成為臺灣主要的雜糧作物，栽培面積在1萬公頃左右，平均鮮重產量約 30 公噸，由於甘藷生育時期不長，單位面積產量高，生產成本每公斤約 3 元，相當值得投入開發，是本土作物中最具發展潛力的能源作物之一 (林，2006)。

利用甘藷生產燃料酒精目前主要係利用酵母菌醱酵或利用酵素法將澱粉轉化成糖，最後再將糖轉成酒精，因此國內若要利用甘藷作為生產燃料酒精，結果應會像玉米般產出大量的甘藷酒粕，而扣除鮮藷及被轉化成酒精的澱粉，理論上約 10～16% 的酒粕殘留，故應積極充分開發及利用甘藷酒粕成為有用的產品，藉以降低副產物對環境的污染，也可藉由副產物的收入降低酒精生產的成本，因此甘藷酒粕的利用將是甘藷作為未來生質酒精生產的重要課題。

甘藷以高澱粉含量及產量，成為重要的生質能源作物，栽培面積未來將隨著能源作物的發展大幅提升，不過因生質能源用與鮮食用品種食用品質差異並非相當大，部份能源用甘藷流入鮮食市場可能性相當高，此舉將衝擊鮮食甘藷的栽培利用。農試所嘉義分所 94 年開始著手鮮食甘藷釀造技術及產品的研發，藉以因應甘藷未來產銷失衡的風險。目前利用生料法及熟料進行釀造流程的建立，其中生料法以甘藷簽為原料，熟料法則以新鮮甘藷塊根為原料，兩種醱酵方式在完成醱酵後，利用過濾方式取得生料及熟料甘藷酒粕，經除去酒粕中酒精成分後，乃以乾燥之酒粕為原料，目前已初步完成甘藷酒粕美顏皂、甘藷酒粕面膜膏 (吳，2007) 及甘藷酒粕醬油 (筆者未發表資料)等產品之開發。

甘藷營養相當豐富，每 100 公克鮮藷含水分 61.1 克、蛋白質 1.8克、脂肪 0.2 克、碳水化合物 29.5 克、熱量 127 千卡、粗纖維 0.5 克、灰分 0.9 克、鈣 18 毫克、磷 20 毫克、鐵 0.4 毫克、胡蘿蔔素 1.31 毫克、硫胺素 0.12 毫克、核黃素 0.04 毫克、尼克酸 0.5 毫克、抗壞血酸 30 毫克。其中有約 20% 的澱粉含量被轉換成酒精，基本上約可獲 10% 的酒粕。由於酒粕含有很多有益人體健康的保健物質，它含有蛋白質、纖維質、維他命 B1、B2 及鈣、磷、鐵、鈉、鉀等無機質，具養生美容功效；另外亦含有酵母菌、麴酸、維他命及氨基酸，是現代人養顏美容和健康長壽的秘密武器，因此經過醱酵後之甘藷酒粕副產物具有高度營養及美容保養價值。

1. **甘藷酒粕美顏皂：**本項產品主要係利用醱酵技術進行甘藷塊根的醱酵，過程中除了可獲得甘藷酒 (釀造酒) 外，酒粕原料則經多道處理手續後去除酒精成分，成為美顏皂主要的製造原料，並依熱製造法研製出甘藷酒粕美顏皂產品，本項產品具有保濕、抗氧化及提供美膚所須營養等特點，且因泡沫柔細，好沖洗。洗後不緊繃，不乾澀，感覺清爽，天然柔和宜人及各項膚質均能適用等優點，是一深具開發潛力的美容保養產品，目前正著手申請技術移轉中。
2. **甘藷酒粕面膜膏：**由於甘藷不但富含營養，並含有保濕效果佳的多醣，因此乃利用甘藷酒粕為主要原料，搭配小麥胚芽油、甘油、熊果素萃取液…等7種配方研開發出保濕、美容保養及清潔效果佳的甘藷酒粕面膜膏。產品具有 (1) 感覺清爽，使用後不緊繃。 (2) 未添加介面活性劑，可長期使用作為美容清潔保養用品。(3) 清潔能力強，又美容保養效果良好。(4) 具有磨砂功能，能幫助去除角質，促進細嫩新皮膚的形成等多項功效。
3. **甘藷酒粕醬油：**甘藷酒粕由於含約 10% 左右的蛋白質，基本上並無法作為釀造醬油的原料，基此乃搭配適當比率之大豆及糙米粉等原料提供醬油麴醱酵所需之蛋白質來源，經初步醱酵試驗結果發現，可利用甘藷酒粕豐富的營養成分，開發具有保健營養效益的酒粕醬油產品。

稻米生質酒精副產物的開發

稻米是人類主要的糧食作物之一，依美國農業部統計 2005 年世界稻米產量約為4億噸，是世界上近 50% 人口的主食，唯由於國內稻米近年朝向高品質的鮮食方向進行育種及栽培，因此較少朝向能源作物利用上進行考量，然而臺灣栽培環境十分適合生產水稻，加上國內有大量的庫存陳米及因颱風、雨害所造成的發芽稻穀，這些稻米均相當適合作為生產燃料酒精的原料，目前中國大陸已著手對於品質不良之私稻及庫存陳米進行稻米酒精生產相關技術的建立及研究，顯示利用稻米生產燃料酒精具有一定程度的潛力。

中國大陸以稻米生產燃料酒精主要係利用生料酵素法進行，而何等(2005)利用α-澱粉酶及糖化酶探討秈米液化醱酵條件，而汪等 (2005) 則以生料法進行秈稻稻穀酒精生產，潘等 (2007) 則就稻米生產燃料酒精及副產品等利用技術進行綜合論述，根據文中論述，大陸 3 噸秈米約可生產1噸的酒精，而每公升酒精生產的原料成本約須 21 元，若加上其它生產上所需之開支，其生產成本將高於市場售價。因此須增加稻米中非澱粉的成分的利用，開發高附加價值的副產品，如此方能有效降低稻米酒精的生產成本，提高利用稻米作為能源作物的可行性。以下乃針對目前中國大陸及國內稻米生產酒精副產物的利用進行介紹。

一、米糠油的開發

米糠是碾米過程中的副產物，約含有 20% 左右的油脂，是相當好的油料資源，它含有 70% 的不飽和脂肪酸含量，亞油酸和油酸比例接近 1:1，符合世界衛生組織所推薦的最佳比例，是營養價值高且符合保健需求的食用油(潘等，2007) 。因此稻米在生產燃料酒精的過程中，可利用米糠研發此一副產品，類似玉米酒精生產時玉米胚芽油副產品的方式，產製較玉米胚芽油更優質的米糠油產品。

二、米糠副產物的開發

米糠除製成含有天然抗氧化物質、維它命 E、米糠醇及含不飽和脂肪酸的高級米糠油外，從米胚芽中亦可提取 γ-氨基丁酸成分可作為各種保健食品的應用。米糠也能提取蛋白及澱粉供為食品及加工原料。而米糠纖維則可製成高纖保健食品；米糠多醣在抗腫瘤、免疫增強、抗細菌感染及降血糖上具有生物活性，可研製保健食品或藥品。至於 γ-穀維素及米糠醇類則用於肝臟保健、抗氧化及老化等醫藥用途，另外在化妝品原料、食品添加劑、飼料添加劑、紙張塗膠及印刷油墨製造等也不錯的揮灑的空間。至於飼料利用則以豬、牛及魚餌為主，但家禽及小動物因米糠含有植酸成分，會阻礙消化及降低金屬離子的生理有效性，進而影響發育而不適用 (吳等，2006)。

三、米蛋白的開發

稻米中含有約 6-10% 的粗蛋白質，在經糖化後所剩的酒粕中，其蛋白質含量可高達 40-50% ，是原來米蛋白質含量的 5-7 倍，由於米蛋白不含抗營養因子，具有胺基酸組成均衡性佳及低過敏性，且無異味及消化率高等優點，所以應利用稻米生質能源生產所得米酒粕進行稻米濃縮蛋白產品的開發利用，具有相當好的經濟效益。戴和魏 (2004) 便利用米酒粕建立稻米濃縮蛋白的生產流程，相信臺灣也能充分利用這種方式生產高價的米濃縮蛋白，藉以降低稻米燃料酒精的生產成本，提升稻米成為能源作物的可行性。

四、乾燥米酒粕、可溶性固形物和沼氣的利用

稻米生產燃料過程中，其醱酵液 (酒糟) 在抽提酒精後會有大量廢液產生，這些廢液的組成分相當複雜，包含豐富的營養物質，諸如蛋白質、脂肪、纖維素、維生素、有機酸、礦物元素及殘存的碳水化合物等，醱酵液如直接排放將造成環境重大的污染，因此宜回收使資源有效充分利用，而酒糟廢液若直接蒸乾雖可得到乾燥米酒粕，獲得高蛋白質含量之飼料原料 (酒粕)，但由於生產之廢液量大，十分耗費能源，因此目前多利用過濾或離心方式將廢物中大量固形物質分離出來，最後再把固形物進行乾燥得到含可溶性固形物之米酒粕，此一方法由於不需蒸乾大量廢水，能量消耗低，因此十分經濟可行，尤其是濾除酒粕及固形物之廢水可進行厭氧醱酵產生沼氣，增加另一項能源性的副產物 (潘，2007)，未來國內能源作物的酒精生產時可考慮採用這種方式進行。

臺灣雖有不少的稻作面積，但對於利用稻米生產燃料酒精的技術及相關研究相當少，殊為可惜。尤其臺灣有近二十萬公頃的水稻種植面積，農民栽培經驗及生產技術均相當純熟，很容易進行大面積生產，有利於生質能源原料的生產，因此國人似乎進一步考量以稻米生產燃料酒精的可行性。至於未來發展稻米作為燃料酒精的副產物的利用上，近年來農試所由於致力於稻米多元化利用，研究上已有不少可供參考運用的成果。

五、米香胚美容皂副產品的開發

米糠含有約 64% 的稻米重要的營養成分，像蛋白質、維生素 A、B_1、B2、D、E、K，及膳食纖維、胺基酸、礦物質與 α-基鞘胺醇配醣體等成份，因此米胚及糠層混合物不但具有清潔效果，更具有幫助代謝、肌膚保濕與美白等功效。農試所 93 年度利用在營養或香味上具有利用價值米糠為的材料。目前已開發出米香胚美容皂產品 ，其中米香胚美容皂主要係以化粧品級的皂基為基礎，再利用上述米種之米胚及糠層混合物為原料，經多項調製過程，再搭配多種在美容保養上具有功效的天然植物性配方材料研製而成。由於本產品具有(1)泡沫柔細、好沖洗。(2)洗後不緊崩、不乾澀，感覺清爽。(3)清潔肌膚能力強。(4)有協助美容、保濕與細緻肌膚功效。(5)油、中、乾性皮膚及敏感性膚質均可適用等多項優點。推出後廣受好評，目前已技術移轉草屯鎮農會及五結鄉農會生產販售。本技術未來可利用燃料用水稻米糠進行製造美容香皂，成為降低生產酒精成本有力工具 (吳，2005，吳，2006a；吳，2006b)。

六、酒粕美顏皂副產品的開發

酒粕含有很多有益人體健康的保健物質，含有蛋白質、纖維質、維他命 B1、B2 及鈣、磷、鐵、鈉、鉀等無機質，具養生美容功效；由於酒粕深具美

容保養功效，因此乃利用農試所建立之醱酵技術獲取優質酒粕，而為避免產品因含酒精成分造成皮膚過敏現象，先將酒粕中之酒精成分去除，最後再採用化粧品級的皂基為基礎，以無酒精成分之米酒粕及紅麴酒粕為主要原料，搭配無患子、蘆薈...等 9 種植物精華，以熱製造法進行產品製造，而以天然的植物性精油調整產品香氣，從而製成此一產品。由於原料調製過程未添加化學藥劑及介面活性劑等一般香皂常用成份，因此產品相當天然溫和及安全，不會對肌膚造成刺激作用，適合作為美容保養上長期使用之產品。也是一項相當環保的美容香皂。由於稻米生產燃料酒精過程中，若能於醱酵完成後先以過濾或離心方式取得優質酒粕，再利用農試所建立的酒粕處理技術，如此則可利用燃料酒精生產之酒粕副產物開發此項產品 (吳，2006a；吳，2006b；吳，2007b)。

七、米酒粕面膜膏副產品的開發

利用酒精生產之酒粕副產物為主要原料，在酒粕經多重程序處理而除去酒精後，搭配天然植物配方、小麥胚芽油、甘油、桑白皮萃取液...等 8 種配方，農試所亦開發出不會引起皮膚過敏反應的米酒粕面膜膏。產品具有 (1) 不油膩，不乾澀，感覺清爽，使用後不緊繃。(2) 未添加介面活性劑，故不會引起過敏反應，可長期使用作為美容清潔保養用品。(3) 清潔能力強，在去污、除油脂上有不錯的效果。美容保養效益佳。(4) 油、中、乾性皮膚及敏感膚質均適用。(5) 具有磨砂功能，磨砂過程溫和不傷肌膚，能幫助去除角質，促進細嫩新皮膚的形成 (吳，2007b)。

甘蔗及油料能源作物副產物的開發

一、甘蔗副產物的利用

甘蔗是世界上用於生產生質酒精的最主要作物，目前以巴西酒精生產量 126 萬噸為最大生產國，而甘蔗生產酒精主要的副產物為蔗渣、廢糖蜜及濾泥等三種，目前蔗渣可利用於製漿造紙上，諸如衛生紙、餐巾紙、面巾紙...等。而蔗渣亦含戊聚糖，經過酸解作用能將木糖抽取出來，是相當不錯的糖類產品。而利用蔗渣作為燃料亦可進行發電，可供生產燃料時之動力來源。廢糖蜜富含蔗糖、碳水化合物、有機物質、維生素及氨基酸等，可利用其製造 L-賴氨酸、天門冬酸、酒精、冰醋酸、維生素 D 及檸檬酸等產品。濾泥是蔗汁經澄清後，由過濾機過濾所排出之殘渣，利用亞硫酸法澄清蔗汁之濾泥可直接作肥料使用 (韋，1995；朱等，2000；李等，2003)。至於生產糖蜜酒精之廢液除可供沼氣生產、食用菌絲培養 (吳等 2003) 及有機肥料利用 (江和黃，2000)。

二、生質柴油副產物的利用

若以生質柴油生產而言，其主要的副產品為甘油，甘油雖擁有 1500 種以上的用途，諸如化妝品、護膚藥劑、烟草、醫藥及各種食品加工產品，確實不勝枚舉，但其總需求量並不甚大，因此引起生產過剩。尤其近年來世界各國推廣由植物油脂生產生質柴油 (Biodiesel)，如黃豆生質柴油 (Soy Biodiesel, Methyl Soyate)，即脂肪酸甲酯 (Methyl ester of fatty acids)，以致甘油產量，將更為過剩而趨於跌價，甚受有關業界的關心。如是，如何研發甘油的革新用途以利因應，乃成為業界的挑戰。因此未來生質柴油副產物的利用可能需著眼於製油過程中，由於榨油後會產生之豆粕、油菜粕、向日葵粕及其殘體的利用較有利基，諸如豆粕可供飼料及食品加工原料，而油菜及向日葵殘體可供製造有機堆肥等利用。

生質能源副產物利用的未來展望

生質能源的生產符合永續經營的理念，它把生質物質資源化及能源化，兼具能源與環保上的雙重貢獻，因此若能在政府有效輔導及推動下，未來生質能源的發展將極具經濟效益，尤其是生質能源生產過程中，能充分利用副產物開發具有附加價值的產品，彌補國內因農作物生產成本高、生質能設備、規模及技術效率不足等問題，如此方能確保生質能源生產及利用的永續經營。展望未來生質能源產物利用應朝向 1.副產物新利用方向的開發。2.大量的酒糟廢液的充分利用。3.酒粕的充分利用等三的方向加強研發工作的進行。

一、副產物新利用方向的開發：由於臺灣生產環境的限制，油料作物的生產問題頗多，目前仍以澱粉類及糖類作物較具開發潛力，因此展望未來國內生質能源副產物的利用應以生質酒精副產物為主。而國內生質酒精之生產目前以甘藷及稻米深具潛力，而其副產物理應多所著墨，尤其應加強新利用方向及產品的開發，諸如稻米在生產酒精過程會產生稻稈、稻殼及米糠兩種廢棄物，其中稻稈臺灣每年約有二百萬以上的稻稈可供利用，無論是進行造紙、纖維素酒精生產均是便宜好原料，尤其是減少稻稈影響後期稻作之生育及燃燒稻稈引發環境污染的問題均可獲得解決。而稻殼則可進行碳化稻殼或活性碳生產的利用，其中碳化稻殼可供做栽培介質或土壤改良劑使用，活性碳則可做濾材原料使用。至於米糠因其營養特點，更可朝保健及美容保養產品方向研發。

二、酒糟廢液的充分利用：甘藷及水稻在燃料酒精生產過程會有大量的酒糟廢液及酒粕產出，而酒糟廢液的利用上經氧化處理後可供做灌溉用水，而因酒糟廢液含有大量營養成分，若根據液體肥料的製造技術原理，尋找合適的菌種及配方，諸如過期牛奶等物料，相信以酒糟廢液的營養價值，應可開發

出高價值的液體肥料，供做農作物栽培使用。而國外研究指出可利用廢液培養保健養生菌絲 (靈芝)，顯示可以考慮利用這些廢液生產高價的微生物，供保健食品研發利用。

三、酒粕的充分利用：酒粕由於能源作物經液化及糖化後，其含營養成分經濃縮而提高了 5-7 倍，顯示營養十分豐富，極具經濟利用價值。用途上可供飼料、營養食品及美容保養品原料利用。其中飼料除供牛、豬等利用外，若能研發寵物之酒粕飼料，其產品價值可更一步提升。而酒粕若在酒精製程及處理乾燥過程中進行掌控，避免酒粕營養成分遭到破壞或添加過多的化學藥劑影響利用價值，如此酒粕可供食品加工開發出高營養的食品，諸如以酒粕進行麵包、餅干、糖菓、雪花片、醬油、營養保健之調味料、酒粕養生酵母粉、養生錠、高蛋白質食品或原料、高纖食品等產品的開發；此外，酒粕亦含相當多的美容保養成分，可以作為美容保養品的原料來源，開發諸如酒粕香皂、面膜、保濕及營養萃取液、美容效果特殊成分之精萃液等產品，大幅提高副產物的商業價值，讓廢物也能變黃金。

參考文獻

王岩、周拓。1997。玉米酒精糟飼餵肥豬的效果。黑龍江畜牧科技 2：18-19。

朱國洪、劉振集、尹國、彭超英、高孔榮。2000。甘蔗糖蜜酒精工業廢液治理。四川環境 19：45-47。

江永、黃福申。2000。糖蜜酒精廢液生產甘蔗有機複混肥的研究初報。甘蔗糖業 4：22-28。

吳永培。2007a。農產作物應用於高附加價值產品之開發。農科新世紀刊印中。屏東農業科學園區附屬專刊。臺灣 屏東縣。

吳永培。2007b。國產稻米的加值利用。技術服務季刊(刊印中)

吳永培。吳永培、許志聖。2006。擴大稻米多樣化利用的研究。農業世界 276:32-35。

吳永培。2006a。高附加價值米加工產品製造技術之研發。農業世界 277:26-33。

吳永培。2006b。米系列美容保養品製造技術之研發。技術服務季刊 65(16):15-17。

吳永培。2005。米香胚美容皂製造技術之研發。技術服務季刊 62:15-18。

吳振強、葉海濤、梁世中。2003。甘蔗糖蜜酒精廢液培養食用菌絲的研究。重慶環境科學 25：23-26。

何國慶、伊源明、葛紅娟、張顥。2002。早秈米酒精醱酵的液化條件初探。中國水稻科學：375-377。

汪江波、薛海燕、邵玉玲、佘響華。2005。早秈稻穀生料醱酵生產酒精工藝

研究。釀酒科技：58-60。

李松、楊榮仲、潭裕模、莫磊興、潭芳。2003。我國發展能源甘蔗研究生產的現實意義。廣西蔗糖 32:44-46。

林俊義。2005。能源作物之國外推動經驗與國內發展展望(上)。技術服務季刊 64：7-14。

林俊義。2006。能源作物之國外推動經驗與國內發展展望(下)。技術服務季刊 65：5-10。

孫平。1998。玉米酒精廠的玉米油生產。釀酒 5：25-26。

韋如花。1995。廣西蔗糖深加工、副產物利用和廢棄物治理科技發展概況及努力方向探尋。廣西蔗糖：38-42。

張平民、王如山。1998。玉米酒精糟液生產優質蛋白飼料。釀酒科技 6：59-60。

郭亮、郭浩、李學武。2005。玉米乾酒糟及其可溶物(DDGS)營養價值評定及評定技術的研究。中國畜牧獸醫 32：17-20。

陳淵國。2006。美國含可溶物乾燥玉米酒粕的發展現況與本土動物試驗結果。DDGS 研討會資料。12 頁。臺灣

潘敏堯、杜風光、史吉平、王良東、董青山。2007。稻米產燃料乙醇及副產品綜合利用技術研究進展。釀酒科技：89-91。

楊逢玉、秦貴信。2003。乾玉米酒精糟對不同畜禽的營養價和飼餵效果。飼料工業 24：16-18。

隋志恒、王立、劉野。1995。玉米酒精副產物的多層次綜合利用。農業環境與發展 3：41-42。

趙桐、王玉蘭。1995。玉米酒精副產物的多層次綜合利用。農業環境與發展 3：41-42。

戴紅爾、魏安池。2004。利用米糟製備食用大米濃縮蛋白。糧食與油脂 2：13-14。

劉振揚。2005。玉米酒精廠副產品玉米油生產技術。中國油脂 30：21-23。

韓玉珍、楊軍、姜福民、田曉東、劉國喜、董良杰。1993。玉米酒精糟液綜合利用的研究。農業工程學報 9：113-118。

Chen Y. K., A. N. Pell, L. E. Chase, and P. Schofield. 1999. Rate and extent of Digestibility of the ethanol-soluble and neutral detergent-insoluble fractions of corn grain. Journal of Animal Scoence 77:3077-3083.

Harty, S. R., M. Akayezu. J. G. Linn and J. M. Cassady. 1998. Nutrients composition of distillers grains with added solubles. Journal of Dairy Science 81:1201.

Larson, E. M., R. A. Stock, T. J. Klopfenstein, M. H. Sindt, and R. P. Huffman. 1993. Feeding value of wet distillers byproducts for finishing ruminants. Journal of Animal Science 71:2228-2236.

Linn, J. G. and L. E. Chase. 1996. Using distillers grain in dairy cattle rations. Professional Dairy Management Conference, Dubuque, IA.

Lodge , S. L., R. A. Stock, T. J. Klopfenstein, D. H. Shain, and D. W. Herold. 1997a. Evaluation of corn and sorghum distillers byproducts. Journal of Animal Science 75:37-43.

Lodge , S. L., R. A. Stock, T. J. Klopfenstein, D. H. Shain, and D. W. Herold. 1997b. Evaluation of wet distillers composite of finishing ruminants. Journal of Animal Science 74:44-50.

NRC 1989. Nutrient requirements of dairy cattle. National Academy of Sciences. Washington, D. C.

NRC 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. National Academy of Sciences. Washington, D. C.

Schingoethe, D. J., M. J. Brout, and C. P. Birkelo. 1999. Milk production and composition from cows feed wet corn distillers grains. Journal of Dairy Science. 82:574-580.

Shurson, J. 2003。新世代含可溶物乾燥酒粕在豬與家禽日糧的利用。九十二年度飼料製造技術研討會。臺灣 嘉義。

臺糖產出生質酒精的發展

劉嘉哲

台糖公司研究所

前　言

酒精生產很可能是最古老的應用微生物技術，從考古學上發現的圖像與採集樣品來推測，人類釀酒可以回溯到古埃及早期，也就是大約七千年前。回顧數千年的釀酒歷史，燃料酒精的概念估計在十八世紀末到十九世紀初才出現，與人類活動的歷史比較，還算不上太古老，不過如果用目前人類活動的標準來看，燃料酒精生產的概念已經可以列入「古典」技術。

燃料酒精在十九世紀逐漸盛行的同時，大量開採石油的技術也正開始發展，當雛形內燃機（1860 年）出現時，其設計是同時可以使用酒精與石油產品，石油產品受限於當時的油源、開採技術、與煉製技術，僅達到與酒精分佔燃料市場的程度，這兩種燃料的競爭，一直持續到二十世紀初。自十九世紀末化學工業開始利用石油產業產品為原料，化學工業的發展直接刺激石油開採與煉製技術之提升，使得石化產業與技術快速進步，石油衍生之液態燃料在二十世紀初迅速取得優勢，很快使得酒精完全退出液態燃料的市場，石油獨佔液態燃料的情況一直持續到二十世紀七十年代。肇因於中東戰爭的的第一次石油危機，使得酒精燃料在歷經半世紀沈寂之後，再度成為液態燃料（主要是引擎燃料）的選項之一，在這一波由於石油危機所誘發的替代能源熱潮中，巴西由於得天獨厚的甘蔗產業特性，成為唯一持續利用燃料酒精的國家，事實上，在二十世紀後期，由於國際市場長達超過二十年的平價石油供應，巴西酒精政策在世紀末曾經瀕臨測底失敗。

時序進入二十一世紀，能源產業出現戲劇化演變，由於石油價格持續上漲，使得巴西酒精產業在生產成本上重拾競爭力，另一方面，汽車工業推出一項應用於引擎的新技術，使得燃料中添加酒精的比例可以有較大彈性，就是所謂彈性燃料汽車（flexible fuel vehicle），可以使用幾乎任何比例混合的酒精汽油，在巴西大受歡迎。同時，在美國非常弱勢的酒精汽油（原僅美國中西部農業州有供應），在苦撐近三十年之後，也有類似的際遇。由於能源策略與措施鼓勵利用美國國內充足的玉米料原生產酒精，在政治、經濟與農業等各項有力條件的配合下，酒精生產成為過去兩年間美國最蓬勃發展的產業之一。在巴西與美國兩大酒精生產國的刺激下，國際間許多其他國家紛紛制訂汽油添加生質酒精的法規，或是設定時程，預期利用酒精取代部分汽油。

體認能源環境之變化，同時順應世界潮流，臺灣於 94 年 6 月召開全國

能源會議，會中決定將生質燃料酒精列為臺灣將來替代能源的選項之一，雖然會中並未對於汽油摻配酒精做明確決議，不過已經清楚宣示生質燃料酒精在替代能源規劃中的地位。台糖公司由於具有甘蔗生產經驗與技術、曾經大規模生產酒精，加上國營企業本質，自然責無旁貸，理應率先進行酒精產業評估與規劃。因此，台糖公司於 94 年底組成臨時編制生質能源小組，開始進行酒精產業的評估。

燃料酒精產業可以自上游到下游分成幾個階段，首先是原料生產，其次是醱酵生產技術，包括後段的除水處理，然後是酒精與汽油之混和、配送，除末端的酒精汽油產品之外，尚有消費者端的各項條件需要配合，其中引擎適應性可能是最受到關心的。此外，政策引導、消費者心理、對於燃料市場之影響等政治、社會、與經濟議題，都與整個產業有相當的關係。從台糖公司的角度看酒精產業，農業操作與酒精生產是最主要的工作，因此本文所要探討的主要部分將限於生產技術，至於政策、法規、及其他面向，雖然在某個層面上對於產業是否成形更具影響力，受限於本文涵蓋範圍，非技術相關的部分，將不做任何評論或建議。

台糖公司生產酒精簡史

台灣糖業雖然以台糖公司為代表，不過台糖公司創立於民國 35 年，臺灣的糖業實際上開始於 17 世紀，在前清就有具規模的蔗糖生產，日據時代各地糖廠以獨立公司的型態（日本稱株式會社）出現，日本統治者在 1903 年在大目降（現在臺南新化）成立臺灣糖業試驗所，直接隸屬總督府，總理糖業相關研究與產業規劃，可見對於糖業的重視。

日據時期臺灣的酒精生產曾經有用甘藷為原料的例子，不過主要生產原料是糖蜜，而糖蜜是蔗糖生產過程中的副產品，因此與甘蔗產業有直接關係。糖蜜是蔗汁經過濃縮、結晶、離心分離等手續，將蔗糖分離之後所剩下的濃稠黏液，甘蔗從採收到進入糖廠的過程中，會有或多或少的夾雜物，加上製糖過程中所添加化學藥劑，糖蜜在經過適當處理前並不適合人類直接食用，因而一度被視為相當棘手的廢棄物。由於甘蔗汁係甘蔗組織經擠壓破碎後所收集的全汁液，除了蔗糖之外，組織液所有的可溶性成份也都會存在於甘蔗汁中，製糖過程的主要產品是砂糖，而製程無法將蔗糖完全分離（由於蔗糖在水中的高溶解度，加上甘蔗汁是複雜混和物，因此無法百分之百將蔗糖自甘蔗汁中分離），因此製糖剩下的濃稠汁液會有植物組織中常見的蛋白質、礦物質、維生素、以及豐富的碳水化合物，這些成份使得糖蜜成為適合微生物醱酵培養的營養源，利用糖蜜進行酒精生產，其實在「生產」之外，廢棄物處理也是重要的理由之一。

早期各糖廠普遍設有酒精工場，就地處理糖蜜，利用糖蜜生產酒精被視為廢棄物處理的手段，生產效率雖然重要，但並非最優先的考量。糖廠所生產的酒精僅有兩個用途：供給以酒精為燃料的小型機具或是小火車；或是轉售與菸酒公賣局。在農機具與火車之動力來源漸被更換成柴油引擎後，酒精燃料需求大減，而出售的酒精則有成本的壓力，生產效率因而成為重要考量。為了提升生產效率，台糖公司將酒精醱酵廠整併成三個生產基地，分別為花蓮糖廠、屏東糖廠、與位於臺南縣柳營鄉的新營副產廠，各地糖廠生產的糖蜜集中至酒精生產基地進行醱酵生產酒精的作業。隨著臺灣的經濟發展，各項條件使得臺灣糖業在國際市場上競爭力顯著減弱，蔗糖生產不敷成本的情況下，砂糖產量自 1980 年代逐年遞減，許多糖廠因為不符經濟效益而停閉，糖蜜供應量也相對減少，屏東廠與花蓮廠因為原料不足以維持有效益的運轉，而分別在 1997 年與 1998 年終止酒精生產，將糖蜜集中到新營副產廠。新營副產廠生產的酒精幾乎全數售予菸酒公賣局，在自產糖蜜不足狀況下，部分必須以進口糖蜜補充。

臺灣在 2001 年加入世界貿易組織（WTO），2002 年開放酒精進口，台糖公司生產的酒精在無法和國際市場酒精競爭的情況下，失去了公賣局這個大客戶，艱苦經營一年之後，新營副產廠的酒精工場在 2003 年初決定停工，至此台糖的酒精生產告一段落。

兩年之後，由於國際石油價格持續上漲，為因應能源環境的改變，經濟部於 2005 年 6 月召開了全國能源會議，燃料酒精成為替代能源討論項目之一，台糖公司由於具有酒精生產的條件與經驗，加上國營企業本質，配合國家政策推展責無旁貸，因此自主性展開重啟酒精生產業務的可行性評估。緊接在全國能源會議之後，台糖公司立即召集相關人員，進行密集內部會商，討論酒精產業相關議題。2005 年 10 月台糖公司生質能源小組成立，成員包括公司企劃單位企劃處、生產單位砂糖事業部、酒精業務單位生物科技事業部、土地經營管理單位資產營運處、與研究單位台糖研究所，針對台糖現況進行全面性評估。

生質能源小組評估之初步結論

台糖公司生質能源小組成立時，研究議題主要針對燃料酒精產業所引發的問題找尋答案，首先的幾個問題是：最快何時可以生產出燃料酒精？年產量多少？以及大約成本？這幾個問題是為了因應短期內試辦汽油添加燃料酒精的可能性而產生。由於原新營副產廠設備尚稱完整，因此以該廠生產數據為基礎，大致上的結論是三至六個月可以開始運轉，原有產能設計為每天 80 公秉（立方公尺），生產成本受到糖蜜價格影響最大，估計每公升需要新

臺幣 25-30 元。另外，由於新營副產廠並未設置酒精乾燥脫水設備，假如啟動燃料酒精生產，需要在最短時間內解決產製無水酒精最後段乾燥的問題。由於政府政策並未在短時間內啟動試辦汽油添加酒精措施，因此這個評估的結果實際上沒有真正付諸實施。(2007 年 9 月添加 3% 酒精的酒精汽油委由臺灣中油公司在臺北市試辦，酒精係由臺灣中油自國外進口)。

在進行新營副產廠酒精設備檢視的過程中，能源小組發現原有硬體設施已經是過時的設備，除非短期內接獲指示生產燃料酒精，否則不宜以新營副產廠現有設備為架構做進一步投資，此外，由於燃料酒精生產幾乎成為國際上所有蔗糖生產國的規劃方向，糖蜜來源有潛在不穩定性，因此新營副產廠的設備就不在長期規劃所考慮的選項中。

除了前述因應短期內生產燃料酒精的評估，能源小組另一個重要的任務是規劃台糖公司的生質酒精產業，經過幾次會議，小組成員發現僅僅單純的生產製造，其牽涉層面的複雜程度遠遠超過想像，產業啟動前，無可避免需要政策協助，否則執行上將遭遇極大困難。能源小組審視台糖公司現有條件之後，得到幾個初步結論，簡單綜合如下：

一、從收集到的各式資料顯示，甘蔗是最具有效益的原料作物。不過臺灣的甘蔗產期太短，供應全年的酒精需求在本質上就有極大困難，解決方案有兩個，第一是延長甘蔗產期，經查過去記錄，產期可以延長至約半年；第二是尋找其他原料，填補甘蔗原料的空缺。

二、如果以臺灣的汽油用量估計，添加 3% 的酒精每年需要大約 30 萬公秉。台糖公司目前的甘蔗種植面積約一萬兩千公頃，包括自有土地及少部分契約蔗農的土地，以產糖量折算酒精的產能，年產量大約在 4 至 5 萬公秉之間，遠低於全面提供添加 3% 酒精的酒精汽油的需求量，即使將目前可支配之自有農地全數恢復種蔗，仍然不足。

三、台糖公司現有製糖廠有虎尾廠、南靖廠、及善化廠三座，由於近年甘蔗產業環境的變化，現有的生產模式，實際上距離產業應有的效益有相當的差距，特別在農產品採收後的運輸作業，已經在遷就現實狀況下而遠離「最短運輸距離」的理想。

四、台糖公司具有大規模農業栽培、採收與運輸的經驗，在臺灣沒有其他單位具有類似的條件，加上臺灣農業條件特殊，類似經驗境外輸入的機會極低，以燃料酒精產業基礎條件來看，台糖公司掌握絕佳優勢。

五、政策性問題，包括可能之租稅優惠、下游燃料業之狀況、及提出國營事業投資案所可能遭遇的問題等，需要先行了解，再進一步尋求解決之道。

針對結論一，能源小組指示台糖研究所和砂糖事業部，對於可能的原料

進行生產技術評估，並核定研究計畫實際進行栽培與酒精生產測試。台糖公司並於 2006 年派出一個參訪團至巴西與美國，拜訪當地的酒精生產工廠，實地了解目前居燃料酒精產業領先地位的兩個國家，其酒精工廠的操作方式。針對結論二至五，2006 年底委託具有相關產業經驗之顧問公司進行評估與規劃。

生質燃料酒精原料評估

生質酒精生產所使用的原料可以分成三大類，第一類為糖質作物，包括甘蔗、甜菜、及甜高粱等；第二類是富含澱粉之作物，以玉米、樹薯(cassava)、小麥、及甘薯等為代表；第三類則是纖維類產品，這是最複雜的原料，由於其特性是可以盡量避免與糧食作物競爭農地，因此許多人高度期待具有經濟經爭力的技術早日開發成功。除此三類之外，另有利用非纖維質工業廢棄物（主要是食品工業）為原料者，不過臺灣此類原料有限，台糖公司利用此類原料可能性極小。

糖質原料中，巴西已經建立甘蔗酒精的產業模式，產業架構完整。就生產技術而言，除了農場廣闊、糖廠建於農地中心位置（縮短運送距離）之外，配合蔗糖生產所設計的流程，更提升生產效益。巴西糖廠與酒精工廠的簡單流程如圖一所示，高濃度的甘蔗原汁直接進入製糖程序，由於蔗渣中仍存有糖份，製糖程序會利用熱水自蔗渣中萃取三至五次，以期將種植一年的甘蔗中寶貴的糖完全取出，第一道壓榨以後的蔗渣製糖產生的糖蜜再與熱水萃取的稀糖液混和，提供為酒精生產之原料。此種生產製程安排，不僅提高生產效率，蔗糖與酒精兩種產品更可以視市場需求進行生產比例的調節。

臺灣由於農地面積不足，假如以甘蔗為酒精生產原料，則勢必無法同時生產蔗糖與酒精，酒精生產將會採用接近圖二所示之生產流程，所有蔗汁都會用於生產酒精，原有的製糖程序僅需要添置醱酵設備。甘蔗
種植、採收、壓榨等程序對於台糖公司而言，僅是例行性工作，生產的困難處不在製程，而在更基本的原料供給。依據臺灣蔗糖生產之歷史紀錄，甘蔗產期最長僅能延續至六個月，自每年十一月至次年四月，為供應全年酒精需求，其餘時間必須妥善規劃。由於總需求量大，生產半年供應全年的模式需要大量儲藏空間，在實際運作上有困難，如果搭配進口酒精，則失去利用本土原料的原始用意，因此，尋找第二種原料似乎是僅存選擇。

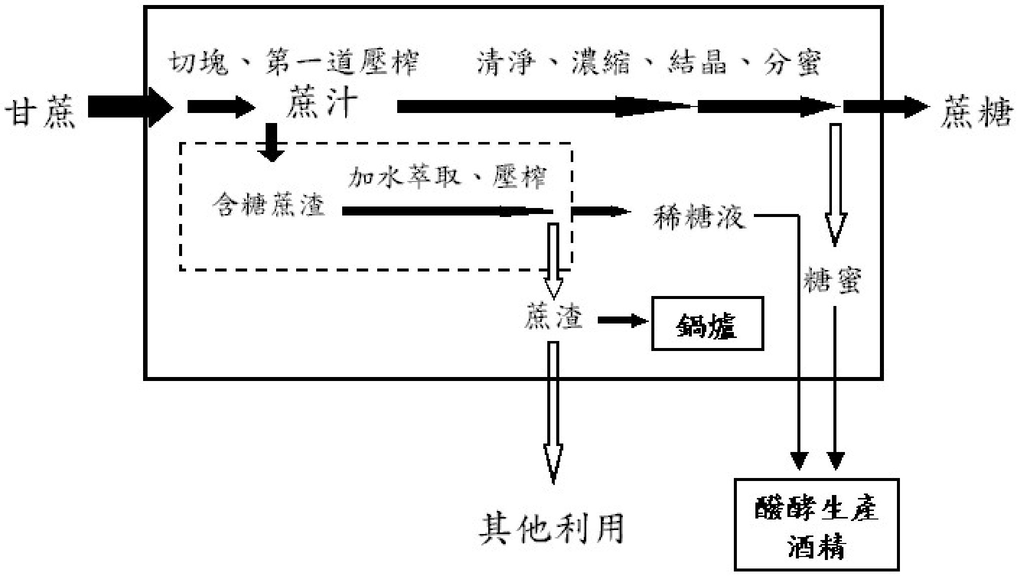


圖 一、巴西酒精生產流程簡圖。

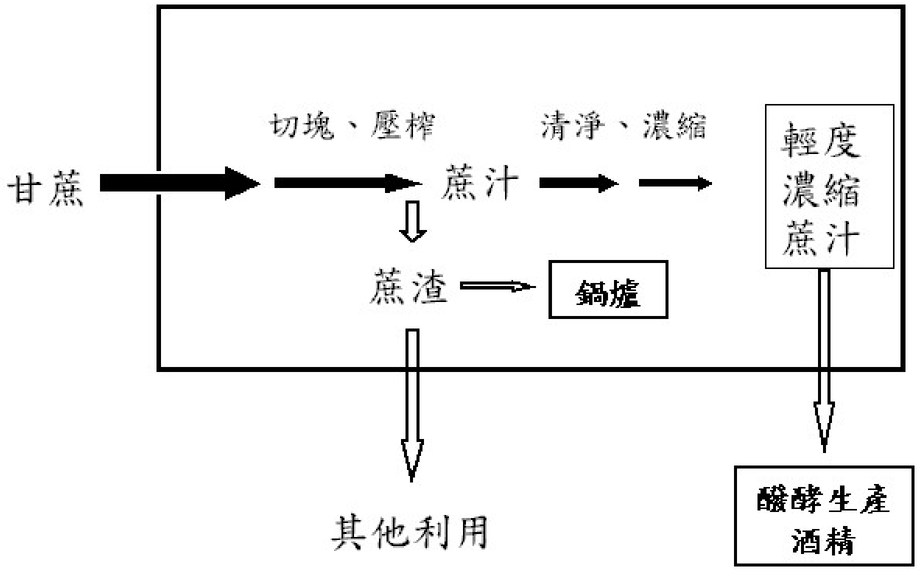


圖 二、臺灣利用甘蔗生產酒精可能之模式。

在糖質原料中，台糖公司另考慮兩種作物：甜菜與甜高粱。甜菜原是溫帶產糖作物，近年歐洲種子公司培育出適於低緯度地區栽培的「熱帶甜菜品種」，經過印度與越南地區試種，成效良好。台糖研究所於 2006 年引進種子試種，結果顯示引入之品種可以適應臺灣氣候，而且具有一年兩穫的潛力。甜菜汁液含糖量 15% 以上，實際進行酒精醱酵試驗，適當調節操作條件後，不需要添加額外營養成分，酒精產率可達 90%以上。雖然初步試驗顯示熱帶甜菜具有酒精生產之潛力，不過甜菜塊根由於纖維含量較少，不適於壓榨方式分離糖液，一般以連續式滲提法進行，與目前的甘蔗製程無法搭配，除非整個操作程序皆更改為滲提，否則有實行上困難。加上熱帶甜菜大面積田間栽培測試、機械採收、運搬等，並未建立任何模式，因此甜菜試驗結果暫停在小規模測試階段。

甜高粱係高粱之一種，在高粱結穗後會在莖桿中累積大量糖份，可以在比甘蔗所需要的生長條件較嚴苛的區域生長，曾經被視為甘蔗產區以外的潛力產糖作物。然而，由於甜高粱汁液含有高比例的還原糖及可觀的澱粉成分，造成蔗糖結晶困難，所以並未實際用於砂糖生產。利用糖質生產酒精時，還原糖也可以作為酵母菌的營養成分，因此甜高粱汁液可以直接取代甘蔗汁，加上甜高粱桿富含纖維，使用的製程設備與甘蔗的操作所需完全一樣，如果甜高粱可以提供甘蔗季節以外時間的糖液做為酒精生產原料，則可以在不增加設備投資條件下，延長酒精工廠開工期。台糖公司砂糖事業部與台糖研究所自印度、美國與澳洲等地分別引進甜高粱品種，選擇不同性質農地，刻正在台糖農場進行栽培試驗，除了測試農業操作之外，並配合採收過程，進行酒精生產測試。國內除了台糖公司之外，農委會農業試驗所與畜產試驗所亦分別進行甜高粱栽培試驗，台糖研究所一直配合進行酒精生產效率分析。根據試驗結果顯示，甜高粱是目前最具有潛力與甘蔗搭配生產酒精的原料作物。

除了糖質作物之外，台糖公司同時也進行澱粉質作物的可行性評估，主要工作有二：首先是評估玉米生產酒精之可行性；其次參與農業試驗所生質能源計畫，進行甘藷生產酒精測試。

台糖公司本身並不生產玉米，玉米原料進入考慮項目純粹是業務操作考量。台糖公司擁有完整的畜殖產業，除肉豬畜殖場多處，並自產飼料。在口蹄疫大爆發之後，台糖失去原來的主力外銷市場，飼養頭數銳減，在 2006 年之前僅飼養約四十萬頭豬，每年估計需要使用二十萬公噸進口玉米。這麼多的飼料玉米，具有支持一座年產七萬公秉酒精的潛力。利用玉米生產酒精過程中，玉米所含的澱粉經過酵母菌醱酵後幾乎耗盡，所產生的副產品—玉

米酒粕 (DDGS, Dried Distillery Grain Solid)，係酒精生產後的剩餘物，其成分為玉米中非澱粉的部分與生產過程中使用的酵母菌（視製程有多寡之別），富含蛋白質。單位重量玉米所產生的酒粕，幾乎可以提供相當於該單位重量玉米在飼料中的的營養，也就是說飼料玉米在經過生產酒精的加工過程之後，其原設定提供於飼料的營養價值（蛋白質）幾乎不減，而酒精則成為副產品。加上玉米進口是全年進行，儲運操作已經有一定架構，設立酒精廠不會影響原有產業的運作。

看似可行的玉米酒精廠構想目前處於暫停狀態，主要原因是美國的能源政策提供與當地酒精生產業者絕大優勢，因此自 2006 年起，玉米需求量遽增。考慮到原料的不穩定性，以及副產品（即玉米酒粕）可能因為酒精產業擴大而大幅提昇供應量，進行玉米酒精廠經濟評估時必須謹慎，同時由於國內畜殖產業於 2006 年發生變化，豬肉價格顯著下降，台糖公司畜殖產業接受指示將縮減產能，最初估計的玉米需求量也隨之調整，降低酒精產能後的酒精廠效益大打折扣，若是維持原來估計之規模，在缺乏外銷空間的情況下，自產玉米酒粕需要轉售予國內其他畜殖場，由於玉米酒精的成本受到玉米酒粕嚴重影響，在玉米酒粕去處面臨問題時，此案的風險已經遠超過玉米酒精可能產生的利潤。

根據一些有關於日據時期臺灣工業發展相關文獻的記載，1930 年代曾經使用過甘薯為原料生產酒精，當時的製程係利用特殊菌株同時生產丙酮、乙醇、與丁醇。另外，根據農業統計資料顯示，臺灣曾經有過二十萬公頃土地栽培甘薯的紀錄，推測可能是與稻米輪作的結果。這些數據顯示臺灣具有大面積栽培甘薯的經驗，2004 年能源會議之後，媒體不斷報導農委會推薦甘薯為能源作物的消息，台糖公司對於甘薯栽培雖然並不熟悉，但是農委會的推薦想必有其源由，如果能夠透過國家農務管理系統運作或鼓勵，則生質酒精的原料問題或許可以得到解決，因此台糖研究所樂觀地協同農業試驗所嘉義分所進行甘薯酒精生產之測試。

甘薯酒精計畫執行一年，使用5000升體積之反應槽進行酒精生產，並實際進行蒸餾操作。實驗得到幾點結論：一、甘薯收成之後需要除泥，受限於設備無法估計需水量；二、洗淨後甘藷需要前處理以利後續操作，例如碾碎甘薯塊根；三、利用酵素反應進行液化與糖化過程中發現有膠質與粗纖維殘存；四、生鮮甘薯含水量接近百分之八十（直接取自與農業試驗所合作農民），估計生鮮甘薯含澱粉大約百分之十五，在經過液化與糖化過程需要添加適量水分，因此實際所得的糖液含糖量低，最終醱酵液酒精濃度也因此相當低，雖然糖液轉化成酒精的效率在 90%以上，整體效率不符預期；五、經

過試算，假設甘薯每公斤成本可以降到臺幣二元，則每公升酒精成本估計約 26 元。

台糖研究所針對甘薯實驗之結論引伸幾點建議，一、根據文獻報導有一些品系的澱粉含量可以達到 40%，除了澱粉高產品系（單位面積單位時間生產量）之外，估計塊根澱粉含量需要超過 25%，才能在製程上達到最佳效率；二、甘薯產期為乾季，如何在雨季供應足夠量甘薯需要事先規劃。

生產生質酒精的第三類原料是纖維素（含纖維素與半纖維素）。纖維素酒精生產有兩個難題需要解決：首先是從技術觀點分析，目前仍然無法生產在成本上具有競爭力的酒精；其次是大量且穩定的原料來源有待開發。號稱是地球上最豐富的生物物質，纖維素並非如想像中容易取得，最主要的困難點在於收集。目前已知的纖維素材中，僅有蔗渣是經過大規模採集、集中、並初步加工的纖維來源。其他具潛力的纖維來源則有待實際測試。農產廢棄物中，作物的莖桿是最吸引人的素材，因為莖桿是生產食物後的副產品，如果可以加以利用，則不需擔心能源作物與糧食作物競爭土地的問題，然而即使是美國的玉米秸桿，目前也近乎全數留在收成後的玉米田中，尚未加以利用。

台糖公司目前的蔗渣主要用於鍋爐燃料，鍋爐產生的蒸汽則用於汽電共生，提供製程所需要的電力與蒸汽。剩餘蔗渣主要用於生產有機肥料，未來如果蔗渣纖維生產酒精技術成熟，將進一步評估蔗渣使用於生產生質酒精比較有效益，或是直接燃燒進行汽電共生。

臺灣公司建立生質酒精產業的基礎條件

前文中所討論的原料作物，除了玉米是畜殖產業衍生料原之外，其他作物都以本土生產之作物為基礎，因此我們可以說：生質酒精生產的最基本條件是原料作物的生產，而作物生產的必要條件是農地，其次是農業操作技術，包括栽培、採收、與搬運。台糖公司建立於蔗糖產業之基礎上，最近二十年的糖業萎縮誠然造成人才嚴重流失，可喜的是目前仍然有大約 1 萬公頃甘蔗農場，仍保有三座糖廠，與全盛時期的甘蔗產業比較，除了鐵路運輸系統幾乎消失之外，其餘產業基礎架構仍然存在，自有之可利用農地面積估計可以達到四萬公頃。從基礎條件來評估進入生質酒精產業的可行性，台糖公司依然具有絕佳優勢。

雖然台糖公司具有在臺灣生產酒精的基本條件，不過台糖生質能源小組從各面向分析整個產業，這些基礎條件僅是進入的門檻，整體規劃是否可以持續到建立產業，則需要進行詳細的生產成本分析與估計。在生產技術上，利用甘蔗汁生產酒精是相當成熟的工藝，而且台糖公司具有酒精生產經驗，

酒精工廠之設立與操作不至於造成太大困難。最後存在的技術問題，又回歸農業操作，農業操作的成本是否具有競爭力。台糖公司針對如何提升農業操作效率刻正進行檢討，除了前述的產季太短問題，同時有農地分散，運輸距離過長等問題，這些操作困難也正逐步思考解決或改善對策中。

展　望

投入生質燃料酒精產業的目的是多面向的，其中較為重要的不外乎能源產出、減緩二氧化碳排放、改善作物栽培地區空氣品質，促進農業地區發展與增加工作機會等，此外，酒精已經被預測將成為未來化學工業的重要原料之一，酒精產業基礎可以轉換成將來化學工業的上游產業，其重要性已經遠遠超過燃料的單一用途。

多年來，受限於生產條件惡化，以致於台糖公司的蔗糖產業持續萎縮，甘蔗產業在臺灣看似已走到窮途，不料過去幾年的石油國際市場產生劇烈變化，使得酒精在短時間內再度成為社會焦點，雖然社會大眾的目光似乎聚集在燃料這個用途上，但是酒精產業的遠景實際上絕不止於燃料用途，酒精產業可以看成是未來化學工業的上游，而化學工業又帶領著民生工業。建立生質酒精產業，實際上相當於建立化學工業原料產業，其重要程度不容忽視。期待台糖公司可以藉著酒精產業再造甘蔗產業的輝煌。

生質柴油的發展與推動

林昀輝、吳佩芬、盧文章、李宏台

工業技術研究院能源與環境研究所

摘　要

生質柴油兼具環境友善、潔淨能源與分散能源供應等優點，是柴油的最佳替代燃料。本文中將介紹各種生質柴油的原料，除了常見的陸生油脂作物(包括大豆、油菜、向日葵等) 之外，也將介紹水生油脂作物-微藻，並分析其化學組成及產量，評估做為生質柴油原料之可行性；在轉化技術方面，轉酯化技術是目前的主要生產程序，本文中將介紹幾種常見的技術 (包括化學與生物製程) 並比較其優缺點；文中最後則介紹臺灣近幾年來推動使用生質柴油的歷程及政府目前推動策略與方向。

前　言

在人類發現便宜的石化燃料之前，能量的需求主要依賴生質物供應，在 19 世紀發現原油後，由於提供大量而便宜的液態燃料，有助於全球工業化發展及提高生活品質。然而隨著快速而大量使用原油，蘊藏量的限制與環境污染問題，開發具有經濟與能源效益，並可以永續生產燃料的技術成為目前重要的課題之一，而生質物正是目前唯一符合此一要求的有機碳的來源。生質柴油是利用動植物油脂為原料，所生產的一種可以替代石化柴油的生質燃料，目前技術成熟且應用廣泛的生質燃料之一，具環境友善、潔淨能源與分散能源供應等優點。

生質柴油的主要原料是動植物油脂，各國所使用的原料依各國農業發展息息相關，例如在歐洲地區菜籽油是主要原料，美國則以大豆油為原料，在東南亞熱帶低區則棕櫚油是主要原料，然而隨著生質柴油日益普及使用量倍增，原料供應的問題也開始受到重視，為了避免與食用油形成競爭，利用不可食用的油脂 (包括回收油) 是不可避免的，因此開發新的料源與新的轉化技術成為未來生質柴油發展的重要關鍵。

生質柴油之原料

生質柴油的原料來自油脂，其來源包括植物或動物，是一種由甘油與三個脂肪酸所形成不溶於水的物質，其通常用於食用或食物料理，此外也用於潤滑劑、肥皂製作、清潔劑、化妝品或化學原料，根據 Peterson, 2005 的報告，目前約有超過 350 種已知的油脂生產作物，其中向日葵、紅花 (safflower)、大豆、棉花籽、油菜籽、玉米油及花生等較具潛力。表一中列

出幾種油脂作物，一般而言其種籽年產量約 1000-2000 公斤/公頃，其生產潛力可達 2500-6000 公斤/公頃，其中例外的是 Chinese tallow tree，由於生長快速，產量可超過 12000 公斤/公頃 （Klass, 1998）。若以植物油所含能量約 40 MJ/公斤計算，則表二中所列之植物每公頃每年約可生產 6.8-13.6 桶油當量 (barrels of oil energy equivalent)。

表一、油脂作物種籽與油的年產量

		種籽產量		油脂產量			
		平均	潛力	平均		潛力	
俗名	學名	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	L/ha	Kg/ha	L/ha
蓖麻	*Ricinus communis*	950	3810	428	449	1504	1590
烏臼	*Sapiumse biferum*	12553	-	5548	-	-	6270
玉米	*Zea mays*	-	5940	-	-	596	650
油菜	*Brasica napus*	-	2690	-	-	1074	1220
紅花	*Carthamus tinctorius*	1676	2470	553	599	888	940
大豆	*Glycine max*	1980	3360	354	383	591	650
向日葵	*Helianthusannuus*	1325	2470	530	571	986	1030

摘錄自 Klass, 1998

目前生產生質柴油的原料主要依各地區作物種植情形而定，例如歐洲地區以油菜和向日葵為主，熱帶地區則以棕櫚油，美國則以大豆及動物油脂為主，所有的三酸甘油酯在轉化後會生成甘油與三個脂肪酸甲酯，脂肪酸的碳鏈與雙鍵的含量隨著原料而有所變動，表二為幾種常做為生質柴油原料的化學組成，其中以雙鍵的數目對於生質柴油的性質影響最大，雙鍵越少則其越穩定，但是也越容易凝固影響低溫環境的使用，相反的雙鍵越多則穩定性較差，但是不容易凝固。國內現行的生質柴油國家標準中，訂定有碘價 (反應雙鍵數目)、氧化穩定性、冷濾點等標準，目前之規範可說是全球最嚴格之標準，其用意即在使消費者能有最高品質的生質柴油可使用，相信也能提高國人使用生質柴油之信心。然而如此嚴格之標準，卻會造成限制原料來源之負面影響，例如大豆油之碘價即超過現行標準，而棕櫚油與國內最容易取得的回收油往往也再冷濾點等項目無法符合，因此廠商在生產的同時，需要根據各種油脂的性質進行調配，甚至需要添加抗凍劑、氧化穩定性增進劑或 16 烷值增進劑等添加劑，因而提高生質柴油的生產成本。

表二、各種油脂的化學組成

	C12:0 (wt%)	C14:0 (wt%)	C16:0 (wt%)	C18:0 (wt%)	C18:1 (wt%)	C18:2 (wt%)	C18:3 (wt%)	other FA (wt%)	Iodine value
棕櫚油	0.5	1-2	40-48	4-5	37-46	9-11	0.3	C20:0 0.3	53-57
菜籽油 低芥子酸	-	-	3-5	1-2	55-65	20-26	8-10	C20:1 1 C20:1 7-9	96-117
菜籽油 高芥子酸	-	-	2-4	1-2	14-18	13	8-10	C22:1 45-52 C24:1 1	98-108
大豆油	-	-	11-12	3-5	23-25	52-56	6-8		121-143
葵花油	-	-	6	3-5	17-22	67-74		C22:0 0.6	127-142
葵花油 高油酸	-	-	4	4	78				85
回收油	0.5	1-3	13-25	5-12	43-52	7-22	0.5-3	C16:0 0-4 C20:1 1 C22:1 0.5	80-91

微藻是另外一個三酸甘油酯的來源，藻細胞主要包括碳水化合物、蛋白質及脂肪三種成分，藻類依分類不同貯存物質也不一樣，褐藻細胞之貯存物質以碳水化合物為主，紅藻及綠藻為葡萄糖聚合物 (glucose polymer)，甲藻多為澱粉，而矽藻常以脂肪為貯存物質 （Tortora et al., 2005）。雖然一般藻類細胞中均含有脂肪，不同藻種其脂肪含量有明顯之差異，表三、為藻類脂肪含量及脂質分佈，在脂肪含量較多的金藻綱及綠藻綱中，某些藻種油脂含量可達 70%，隱藻綱、黃藻綱及裸藻綱是屬於脂肪含量較少之藻種，普遍低於 20%（Borowitzka, 1988）。總脂質中包括中性脂質、醣脂質及磷脂質三部分，一般中性脂質又稱甘油脂，為含量最多的脂質，藍綠藻綱、矽藻綱及綠藻綱之中性脂質較多，最高可達總脂肪的 66%。不同藻種之碳水化合物約佔 0.0035 -2.8%，通常低於 5%，但 *Botryococcus braunii* 高達 39.0%。表四彙集油脂含量在 15 %以上之微藻，其油脂含量、生態特性與分類，其顯示微藻細胞油脂含量分佈於 14 - 72%共有 33 株，其中淡水藻種佔 21 株，某些綠藻綱的藻種油脂含量可達 72%。一般而言以綠藻綱含油脂量較高，而隱藻與裸藻的油脂含量較低。

表三、藻類脂肪含量及脂質分佈

	脂肪 (乾重%)	總脂肪(%) 中性脂質	醣脂質	磷脂質	碳水化合物 (乾重%)
藍綠藻綱	2-23	11-68	12-41	16-50	0.005-0.6
金藻綱	12-72				
定鞭藻綱	5-48				
隱藻綱	3-17				0.0035
黃藻綱	6-16	44	17	39	2.8
紅藻綱		41-58	42-59		
甲藻綱	5-36				0.004-0.2
矽藻綱	1-39	14-60	13-44	10-47	0.2-0.7
綠藻綱	1-70	21-66	6-62	17-53	0.03-1.0 (39.0)[a]
裸藻綱	17				

摘錄自 Borowitzka, 1988

a: *Botryococcus braunii* 碳水化合物（乾重%）含量高

表四、含油脂量較高之微藻 (吳，2006)

藻種	生態習性	油脂含量 (% w/w)	分類
Botryococcus braunii	淡水	53-70	綠藻綱、小球藻科
Chlorella spp.	淡水	15-26	綠藻綱、小球藻科
Chlorella emersonii	淡水	29-63(-N) 25-34(-N)*	綠藻綱、小球藻科
Chlorella minutissima	淡水	23	綠藻綱、小球藻科
Chlorella protothecoides	淡水	18-58	綠藻綱、小球藻科
Chlorella pyrenoidosa	淡水	36,72	綠藻綱、小球藻科
Chlorella sorokiniana	淡水	20-22(-N)	綠藻綱、小球藻科
Chlorella vulgaris	淡水	40-58(-N)*	綠藻綱、小球藻科
Dunaliella bardawil (= *D. salina*)	海水	47	綠藻綱、杜氏藻科
Dunaliella primolecta	海水	54	綠藻綱、杜氏藻科
Dunaliella tertiolecta	海水	20.5	綠藻綱、杜氏藻科
Nannochloropsis sp.	海水	20-48	綠藻綱、擬球藻
Neochloris oleabundans	海水	35-54	綠藻綱
Radiosphaera negevensis	沙漠土壤	43	綠藻綱
Scenedesmus spp.	淡水	26	綠藻綱、柵藻科
Scenedesmus acutus	淡水	26	綠藻綱、柵藻科
Scenedesmus dimorphus	淡水	16-40	綠藻綱、柵藻科
Scenedesmus obliquus	淡水	49	綠藻綱、柵藻科
Scotiella sp.	淡水	16-35	綠藻綱、螺翼藻屬
Oocystis polymorpha	淡水	35	綠藻綱、卵囊藻科
Ourococcus sp.	淡水	50	綠藻綱
Protosiphon botryoides	淡水	37	綠藻綱
Biddulphia aurita	海水	40	矽藻綱、盒形藻科
Navicula pelliculosa	淡水	22-45	矽藻綱、舟形藻科
Nitzschia palea	淡水	40	矽藻綱、菱形藻科
Chroomonas salina	海水	25	隱藻門
Monalanthus salina	海水	70	金藻綱
Ochromonas danica	淡水	39-71	金藻綱、棕鞭藻科
Porphyridium cruentum	海水	14-22	紅藻綱、紫球藻科
Chrysochromulina spp.	海水	33-48	定鞭藻綱
Prymnesium parvum	海水	22-38	定鞭藻綱
Euglena gracilis	淡水	14-20	裸藻門、裸藻科
Peridinium cinctum	淡水	36	渦鞭毛藻綱、多甲藻科

(-N)：低氮源培養基　*：管型光生物反應器

資料來源：Ratledge, 1989；Kosaric & Velikonja, 1995；Illman et al., 2000；Scragg et al., 2002。

利用微藻做為原料具有下列優點：1.微藻生長速度快；2.太陽能利用用率高 (可達 10%以上)；3.可利用不適合陸生作物生長的土地。美國能源部在 1978 年至 1996 年有一個開發藻類生產運輸燃料的計畫，其報告指出在計畫中蒐集超過 3000 株微藻，其中約 300 株 (大部分為綠藻和矽藻) 保存在夏威夷大學 （Sheehan et al., 1998），然而受限於生產成本，因此在 1996 年時美國能源部停止了此一計畫。

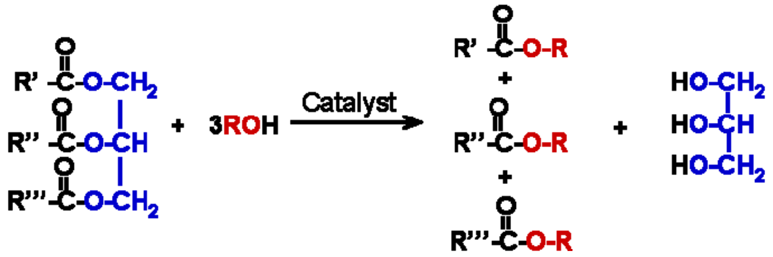
利用藻類生產油脂產量預估可達 72,000 公升/公頃-年，其潛力更可達 130,000 公升/公頃-年 （Hill and Feinberg, 1984），亦即藻類的油脂生產速度比陸生植物快 45-220 倍。目前利用微藻的主要限制在於生產成本，表 2.5 為在美國估算 400 公頃大型微藻養殖的生產成本，其中假設的情境分別為藻類生長速度為 112 與 224 公噸/公頃-年，計算所獲得藻體的成本為 273 與 185 美元/公噸，此一假價格遠高於一般估算木質纖維素的價格 (約 40 美元/公噸)，根據其分析二氧化碳的成本約佔整體成本的 20-30%，若僅就操作成本來看，二氧化碳的成本約佔 10%，因此若能利用低成本的二氧化碳 (如電廠或工廠的所產生的廢氣)，將可有效降低成本，此外根據其分析顯示，不同的工程設計對於藻類養殖的成本影響不大，未來對藻類的研究工作應著重生物學的議題，而有關於藻體培養的限制因素主要包括水、二氧化碳和陽光的供應和平地的取得，而發展低成本的採收技術應也有助於降低藻體生產成本。

生質柴油轉化技術

在二十世紀初，柴油引擎第一次被展示的時候，是以植物油作為燃料，而非現今所使用的石化柴油，但植物油要應用在柴油引擎上，有許多要克服的問題。例如植物油的黏度太高，含有酸和游離脂肪酸，而且在貯存及燃燒時會有膠狀物或積碳現象的發生（Ma and Hanna, 1999; Srivastava and Prasad, 2000）。為了克服上述的問題，使得植物油可以應用在柴油引擎上，需先對植物油加以處理，處理的方法方法包括：裂解法、微乳化法和轉酯化法。裂解法原理是利用熱能使植物油在高溫下再經由空氣或氮氣的高壓噴出，造成植物油裂解。經由裂解法，植物油所產生的產物有烷類、烯類、雙鍵烯類、芳香環類、有機酸類等。產物的組成隨著裂解的植物油種類不同而有很大差異。經由裂解法處理後，雖然可得到較低黏度及較高十六烷值的植物油，但是裂解法出來的產物卻有不合標準灰分，碳殘渣，流動點 (pour point) 等，而且經由裂解法處理後的油品，性質雖類似於石化柴油，然而也使得此油品所含的氧被去除了，造成一般含氧石化柴油特有的環境益處也被去除 （Ma

and Hanna, 1999）。

利用轉酯化技術是目前油脂主要的利用方式其轉化反應如圖一，生質柴油目前也專指其所生成的脂肪單酯 (以脂肪酸甲酯為主)，轉酯化反應是利用觸媒將三酸甘油酯 (油脂的主要成分) 與醇類反應生成直鏈的脂肪酸單酯，所使用的觸媒可包括鹼觸媒、酸觸媒與生物觸媒。利用強鹼催化的製程是目前主要的商業化製程，可於很短的反應時間 (1 小時) 下得到高的生質柴油轉化率 (98%)，然而此程序所需之油脂料源品質較高，當含有游離脂肪酸或水分時，容易會有皂化物生成，除了影響後續分離程序及生質柴油之品質，也會消耗鹼觸媒降低催化效率，Ma 等人 1998 的研究指出脂肪酸的含量最好能低於 0.5%。

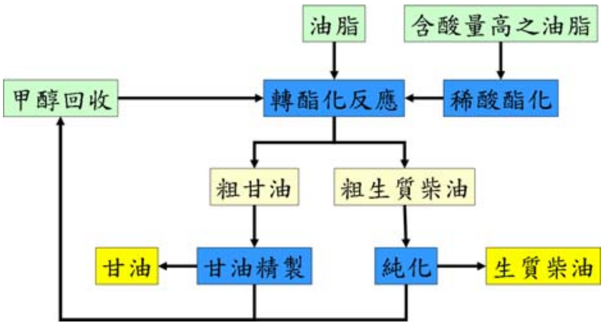


圖一、生質柴油轉化反應方程式

酸催化程序是另一種生質柴油的生產方式，其對於游離脂肪酸的甲基酯化具有反應速度快和轉化率高的優點，但是對油脂的轉酯化的效率遠低於鹼催化程序，通常需要較高溫度與較長的反應時間，因此通常酸製程使用於含有較高游離脂肪酸或水分的原料。此外，有研究指出可以利用酸化醇 (acidified alcohol) 進行同步轉酯化反應，亦即萃取與轉酯化在同一步進行，所添加的醇既是萃取溶劑又是轉酯化的反應試劑，根據 Harrington 與 D’Arcy-Evans （1985）的研究指出，利用同步轉酯化的方法由葵花油生產生質柴油的產率明顯高於傳統以預萃取油進行反應的產率，Özgül 和 Türkay（1993）也利用此一優點進行不同醇類對米糠油進行同步轉酯化研究。Zullaikah 等人（2005）則是開發二階段酸催化製程，由於米糠油中含有高濃度游離脂肪酸，其先在 60 ℃進行酯化反應，將大部分脂肪酸酯化成甲基酯(生質柴油)，剩餘的三酸甘油酯再以 100 ℃進行轉酯化，其結果顯示以此二階段程序可以在 8 小時內轉化率達 98%。

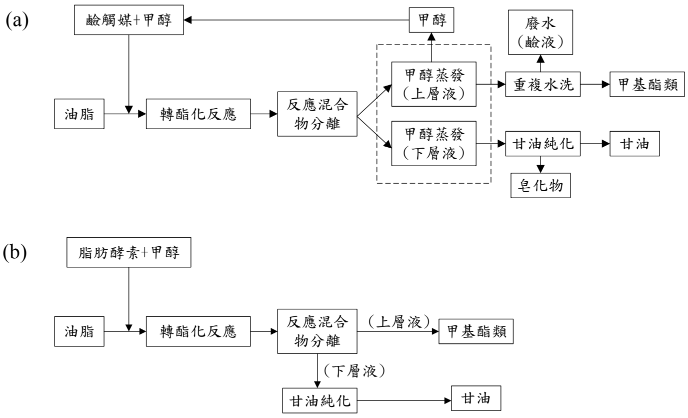
此外，研發結合酸催化與鹼催化兩種程序，先利用酸催化將廢食用油中的游離脂肪酸預酯化，再進行鹼催化程序將三酸甘油酯轉酯化生成生質柴油，如此不但具有可以避免游離脂肪酸對鹼製程的干擾功用，更可結合酸製程與鹼製程的優點，有效提高廢食用油的利用率，其流程圖如圖二，詹等人

（2006） 的報告指出，利用此一程序，第一階段可以將游離脂肪酸酯化成甲基酯 (降低回收食用油或高酸油的酸價)，第二階段則可將油脂轉化成生質柴油，整體反應時間在小於 2 小時的情況下，轉化率可達約 90%。此一製造程序對於臺灣地區以廢食用油為主要製造原料具有重要角色，此外，此一程序也可應用於酸化的廢棕櫚油或米糠油等含脂肪酸高的油脂，如此一來可更進一步增加原料使用範圍。



圖二、二階段轉酯化產製生質柴油流程

利用生物觸媒進行生質柴油的轉化可解決利用化學製程所產生之問題，而生物觸媒轉酯化方法也是針對以廢食用油為原料的方法之一，其對於游離脂肪酸有可直接轉化成甲基酯 (生質柴油)，而不會有副產物生成，此為生物轉化優於化學轉化之處，此外生物觸媒製程也同時具有條件溫和、醇用量少、低污染物排放等優點，鹼觸媒催化製程與生物觸媒催化製程的比較如圖三，其優缺點比較如表五所示。但目前主要挑戰包括：1.生物觸媒反應速率較低。2.甲醇及乙醇等短鏈醇對酵素有抑制作用，由於目前脂肪酵素對長鏈脂肪醇的酯化或轉酯化有效，而對短鏈脂肪醇如甲醇或乙醇等轉化率低。此外短鏈醇對酵素有一定毒性，使得酵素的使用壽命短（Chen and Wu, 2003）。3.副產物甘油會對反應形成抑制，而且甘油對固定化酵素有毒性，使固定化酵素使用壽命縮短（Xu et al., 2003）。



圖三、鹼製程與生物製程生產生質柴油之比較

由於純酵素的製作程序複雜且成本高，雖然利用固定化技術可以增加穩定性延長壽命進而降低成本，但是，由於回收廢食用油的成分複雜，對於酵素的抑制與造成失活的作用較難預估，因此需要一種更便宜而簡單的生物觸媒製備技術，在日本，由於其也面臨需要以廢食用油為原料的問題，因此對此也有相關技術開發，神戶大學 Fukuda 教授等人發出全細胞生物觸媒，其可省去酵素純化和固定化的程序，而使生物觸媒的成本更進一步降低；全細胞生物觸媒固定化的優點：1.不需對細胞進行繁複處理；2.載體不需滅菌；3.BSPs 對基質和產物有良好的質傳速率；4.載體可重複使用；5.載體可抵抗機械剪力；6.生物反應器容易放大；7.成本較其他胞外酵素製程低 (Fukuda et al., 2001)。

表五、利用鹼催化與生物觸媒催化生產生質柴油之比較（Fukuda et al., 2001）

製程／項目	鹼製程	酵素轉化製程	備註
反應溫度	60~70℃	30~40℃	溫度高低表額外加入能源多寡
原料中之游離脂肪酸	形成皂化物	形成甲基酯類	NaOH 會和脂肪酸形成皂化物
原料中含有水份	干擾反應	無影響	鹼製程反應中含有水份會形成大結塊，對後續處理亦造成負面影響
甲基酯類產率	普通	較高	產率指單位原料轉化為甲基酯的比率
甘油回收	困難	容易	甘油為附加產品，可增加額外收入
甲基酯類純化	重複水洗	無	水洗造成廢水排放，需額外廢水處理
觸媒成本	便宜	相當昂貴	增加酵素使用時間以減少成本

在實際利用生物轉化時，通常甲醇需要分次添加以避免甲醇對生物觸媒造成抑制，利用酵素催化反應製程之反應時間雖然是生物轉化中較快的，但完成生質柴油轉化需 36 小時，而其產率也只達到 93%（Watanabe et al., 2000），利用全細胞進行反應雖然具有生物觸媒成本較低的優點，但是轉化時間需達 72 小時，轉化率也僅 80% （Ban et al., 2002）。因此若是光靠生物觸媒進行轉酯化，可能無法與現有商業化製程競爭。其轉化率會受限於幾個因素而使轉化率不高，例如轉酯化反應是一個平衡反應，利用生物轉化時無法添加大量甲醇迫使反應朝產物方向進行，此外甘油也容易吸附在生物觸媒表面造成生物觸媒活性降低。一般而言，雖然利用生物觸媒進行生質柴油的生產具有許多優點，然而其受到的限制有不少，例如生物觸媒的成本、反應速度較化學催化慢也無法添加較多甲醇使的反應率提高，因此未來要能商業化有待進一步研究與發展。

臺灣應用生質柴油之推動

由於生質柴油使用上可直接添加或以任何比例與傳統化石柴油混合使用，無需修改引擎系統，在此優勢下，經由各國相關政策法令及獎勵優惠措施的推動，自 1999 年後便快速大幅的成長。根據統計，全球生質柴油之產能由 2004/05 年的 300 萬公秉提升為 2005/06 年的 380 萬公秉 (如表六所示)，成長幅度高達 27%，其中歐盟地區為最主要的市場。德國為生質柴油推廣最為成功的國家，截至 2005 年德國境內已有超過 1,900 座之加油站販售生質柴油，實際銷售量亦達 150 萬噸以上。而透過稅賦減免的優惠，不僅市售之生質柴油價格低於化石柴油 (價差約 0.14€/L～0.2€/L) ，在此價差誘因下，大型貨車之添加使用量已約占德國生質柴油產量的七成 （陳等，2006）。

表六、全球生質柴油產能分佈 (單位：萬公秉)

國家	2004/05	2005/06
德國	170	200
法國	40	50
義大利	40	20
英國	0	20
美國	40	80
其他地區	10	10
合計	300	380

在國內，民國 89 年由美國黃豆協會正式引進，並委由裕益汽車與工研院能環所進行生質柴油相關評估與道路測試。有鑒於生質柴油對於能源的效益，經濟部能源局從民國 92 年起，委託工研院能環所執行「生物能源技術應用研究計畫」，除開發生質柴油鹼製程生產技術外，並經公開程序與臺灣新日化公司共同合作，於嘉義民雄工業區內設立臺灣第一座生質柴油示範系統，並於民國 93 年 10 月正式啟用商轉營運，開啟了國內業界廠商投入生質柴油產業發展的契機。在推動應用方面，行政院環保署自 93 年度下半年起，陸續在臺北市、高雄市等 16 個縣市，推動「生質柴油道路試行工作計畫」，推廣生質柴油於柴油車輛之使用 (包括垃圾車、資源回收車或是縣市公車)。

經濟部於 95 年 10 月 11 日第 3010 次院會提出「發展綠色能源—推動生質燃料執行方案」簡報，其中規劃以發展綠色自產能源為主要策略，結合能源、農業、環保、產業共同發展，採循序漸進方式展開。經濟部長陳瑞隆指

出，這項計畫全面實施後，其發揮的效益包括四大面向。首先，在能源方面，可提升國內自產能源比例； 在農業方面，則可活用休耕農地、穩定農村經營，在環保方面，可減少 CO_2 、廢棄物等對環境的衝擊，同時，在產業面上，還可引領生質燃料產業發展，落實本土技術開發。根據經濟部規劃，運輸型生質燃料之推動可分生質柴油與生質酒精兩方面進行，在生質柴油方面，第一階段的推動能源作物綠色公車計畫已於今 (96) 年 1 月開始，陸續已有高雄市公車與嘉義縣公車申請使用，希望藉由鼓勵公營大眾交通運輸車輛添加使用生質柴油，以期減少都會地區溫室氣體及空氣污染物排放。第二階段的推動綠色城鄉 (Green County) 計畫也已於 96 年 7 月 27 日啟動，目前在桃園縣及嘉義縣市地區的加油站均可以買到生質柴油 B1，此計畫希望藉由政府相關單位資源之整合應用，結合行政院農業委員會推廣休耕農地種植能源作物政策措施，以特定示範區域內生質柴油整體產銷供應體系之建構，作為全面推廣實施 B1 油品之參考依據。第三階段則預計在 97 年全面實施 B1，經濟部能源局將經由生質柴油國家標準、車用柴油國家標準 (增列添加生質柴油之上下限比例)、石油管理法的增/修訂，建構全面實施 B1 油品的法源依據。第四階段則預計於 2010 年全面實施 B2，藉由發展廢食用油前處理技術，擴大適用料源，提升廢食用油回收體係市場量能；及提升能源作物單位面積產量降低料源成本方；配合相關賦稅減免獎勵優惠 (例如 B1 油品貨物稅、空污費之減免) 之研擬，輔導業界投資設廠，提升生質柴油產能。經濟部將依全面 B1 之模式，於 2010 年將摻添比例提升至 2%，屆時生質柴油使用量將達到每年 10 萬公秉左右。

結　語

推動生質燃料作為替代之車用燃料已是全球發展之趨勢，不僅可減緩化石燃料之消費並降低溫室效應氣體排放。然而在臺灣受限於土地面積，無法如其他國家大規模種植能源作物，因此，在臺灣推動生質柴油，開發能利用本土多元料源之技術與利用豐富之海洋資源應為最重要之研究課題。國內目前在經濟部能源局的大力推動之下，目前也擬定了生質燃料 (生質柴油和生質酒精) 推動計畫，由點 (示範車隊)、線 (區域示範計畫)、面 (全面實施) 循序漸進的方式推動，未來國人將陸續可以在各地加油站看到添加生質燃料的汽、柴油，初期雖然添加比例不高，但這是臺灣推動生質燃料的第一步，未來希望藉由技術發展與增加供應量，讓生質燃料的使用能在臺灣生根且蓬勃發展。

誌　謝

承蒙經濟部能源局資助「生質燃料技術開發與推廣四年計畫」，方能順利完成本文，謹此致謝。

參考文獻

吳佩芬，2006，利用本土淡水藻類產製生質柴油之可行性評估，逢甲大學環境工程與科學學系碩士論文。

陳漢炯、李宏台、盧文章。民國 95 年。動手種出生質柴油田。科學月刊，440，584-588。

詹議翔、林昀輝、李宏台、盧文章。2006。國內生質柴油技術發展。In 國內生質燃料及能源作物研究與應用，李宏台主編。中華生質能源學會，臺灣新竹。第 101-116 頁。

Ban, K., Hama, S., Nishizuka, K., Kaieeda, M., Matsumoto, T., Kondo, A., Noda, H. and Fukuda, H. “Repeated Use of Whole-cell Biocatalysts Immobilized within Biomass Support Particles for Biodiesel Fuel Production,” Journal of Molecular Catalysis B: Enzyme, 17, 157-165 (2002).

Borowitzka, M. A., 1988, Fats, oils and hydrocarbons in Microalgal biotechnology, Edited by Borowitzka, M. A. & Borowitz

ka, L. J., Cambridge University Press, New York.

Chen, J. W. and Wu, W. T., 2003. “Regeneration of Immobilized Candida Antarctica Lipase for Transesterification,” Journal of Bioscience and Bioengineering, 95, 466-469.

Fukuda, H., Kondo, A. and Noda, H., 2001. “Review: Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils,” Journal of Bioscience and Bioengineering, 92, 405-416.

Harrington, K.J., and D’Arcy-Evans, C., 1985. A comparison of conventional and in situ methods of transesterification of seed oil from a series of sunflower cultivars. Journal of the American Oil Chemists’ Society, 62, 1009-1013.

Hill, A.M., Feinberg, D.A., 1984. Fuel products from Microalage; Report No. SETI/TP-21-2348; National Renewable Energy Laboratory; Golden. CO.

Illman, A. M., Scragg, A. H. & Shales, S. W., 2000. Increase in *Chlorella* strains calorific values when grown in low nitrogen medium, Enzyme Microbial Technology, 27, 631-635.

Klass, D.L., 1998.　Biomass for Renewable Energy, Fuels and Chemicals; Academic Press: San Diego,

Kosaric, N. & Velikonja, J., 1995. Liquid & gaseous fuels from biotechnology: challenge and opportunities, FEMS Microbiology Reviews 16,111-142.

Ma, F., Clements, L.D., and Hanna, M.A., 1998. Biodiesel fuel from animal fat.

Ancillary studies on transesterification of beef tallow. Industrial & Engineering Chemistry Research. 37, 3768-3771.

Ma, F., Hanna M.A., 1999. Biodiesel production: A review. Bioresource Technology, 70, 1-15.

Özgül, S., and Türkay, S., 1993. In situ esterification of rice bran oil with methanol and ethanol. Journal of the American Oil Chemists' Society, 70, 145-147.

Peterson, C.L., 2005. In The Biodiesel Handbook; Knothe, G., Krahl, J. Gerpen, J.V., Eds.; AOCS Press: Champaign, Illinois

Ratledge, C., 1989. Biotechnology of oil and fats, In Microbial Lipids, Vol. 2, Edited by Ratledge, C. & Wilkinson, S. G., Academic Press, London.

Scragg, A. H., Spiller, L. & Morrison, J., 2003. The effect of 2,4-dichlorophenol on the microalga *Chlorella* VT-1, Enzyme Microbial Technology, 32(5), 616-622.

Sheehan, J., Dunahay, T., Benemann,J., Roessler,P., 1998. A Look Back at the U.S. Department of Energy's Aquatic Species Program- Biodiesel from Algae; Report No. NREL/TP-580-24190; National Renewable Energy Laboratory: Golden, CO, 1998; http://www.osti.gov/bridge.

Srivastava, A., Prasad, R., 2000. Triglycerides-based diesel fuels. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 4, 111-133.

Tortora, C. K., Lau, P. S., Tam, N. F. Y. & Wong, Y.S., 1999, Biodegradation capacity of tributyltin by two Chlorella species, Environmental Pollution , 105, 289-297.

Watanabe, Y., Shimada, Y., Sugihara, A., Honda, H., Fukuda, H. and Tominaga, Y. "Continuous Production of Biodiesel Fuel from Vegetable Oil Using Immobilized Candida Antarctica Lipase," Journal of the American Oil Chemists' Society, 77, 355-360 (2000).

Xu, Y., Du, W. Liu, D. and Zeng, J., 2003. "A Novel Enzymatic Route for Biodiesel Production from Renewable Oils in a Solvent-free Medium," Biotechnology Letters, 25, 1239–1241.

Zullaikah, S., Lai, C.C., Vali, S.R., Ju, Y.H., 2005. A two step acid catalyzed process for the production of biodiesel from rice bran oil. Bioresource Technology, 96, 1889-1896.

木質纖維素產生能源方法之探討

簡宣裕　張明暉　劉禎祺

行政院農業委員會農業試驗所

摘　要

再生能源種類甚多，利用作物產出能源是可行的方法之一種。玉米、大豆、大麥、小麥、稻米等大宗穀物雖可用於醱酵或加工產出能源，但會嚴重排擠供應人類與畜牧業的需要量。而作物之廢棄有機物含有豐富的木質纖維素，經醣化後可以供醱酵產製酒精與酵素等高經濟價值產物。自然界中木質纖維素 (lingocellulose) 主要是由纖維素、半纖維素及木質素依不同比例組合而成，互相之間糾纏而形成高度結晶性且複雜之結構，纖維素的成份是葡萄糖，而半纖維素的成份為木糖、甘露糖、阿拉伯糖及半乳糖。

木質纖維素可以用高濃度酸低溫或是低濃度酸高溫水解為單醣，然後供微生物進行醱酵產出酒精；但是缺點為， 1. 酸性會對容器造成腐蝕， 2. 使用高濃度酸水解需要用大量石膏等鹼性物質來調整酸鹼值， 3. 僅能釋出 50-60% 理論值之單醣量， 4. 酸水解所產生的 furaldehydes 、 furfural 、 5-hydroxymethyl-furfural 、有機酸及酚類化合物等會抑制酵母 (如 *S. cerevisiae*) 生長。另一方法是前處理破壞木質纖維素結構，方式有 1. 蒸氣爆破 （steam explosion） 、 2. 氨冷凍爆破 （ammonia free explosion） 、 3. 鹼處理（alkaline treatment）及 4. 生物處理（biological treatment）等，經過前處理之木質纖維素以酵素或微生物醣化後，供酵母菌等微生物進行酒精醱酵 (separate hydrolysis and fermentation, SHF) ，或者是醣化作用與酒精醱酵兩者同時進行 (simultaneous saccharification and fermentation, SSF) 。從生產成本的角度來看，利用木質纖維素生產酒精是可行的，但還有幾點有待加強： 1.具高活性纖維素酶菌株之選用， 2.纖維素酶與 laccase （用於去除酚類化合物對酵母菌的抑制） 之價格不能太高， 3.開發多功能纖維素酶 (chimeric enzyme) ， 4.一種菌就能醱酵木質纖維素經醣化後產出的所有單醣， 5.增強酒精生產菌耐受木質纖維素水解物中有毒物質之能力。

前　言

目前石油與煤為人類之主要能源提供者，尤其石油在我們的日常生活及經濟發展上扮演重要的角色。石油之蘊藏量是有限的，且隨著需求的增加，故原油的價格不斷上漲，對個人生活品質與國家經濟發展影響頗巨。此外，燃燒石油與煤會釋出大量二氧化碳，而加速地球暖化，對全球氣候造成極大之影響。因此，世界各國均在尋找最佳之替代能源。生質能源所需的原料是可以再生的，因此是最具發展潛力的替代能源之一。在各種生質能源中又以酒精 (乙醇) 最受重視，若在燃油中添加酒精將可有效的延長現有石油之使用年限，在一代的汽車引擎中已有些可以燃燒含高達 85% 乙醇之汽油 (E85) ，根據統計，美國在 2004 年已有約五百萬輛汽車可以燃燒 E85 型燃料，所欠缺的就是足夠的價廉酒精。除了可以減緩石油之消耗速率外，燃燒酒精所釋出之二氧化碳極少，可減緩溫室效應之發展。

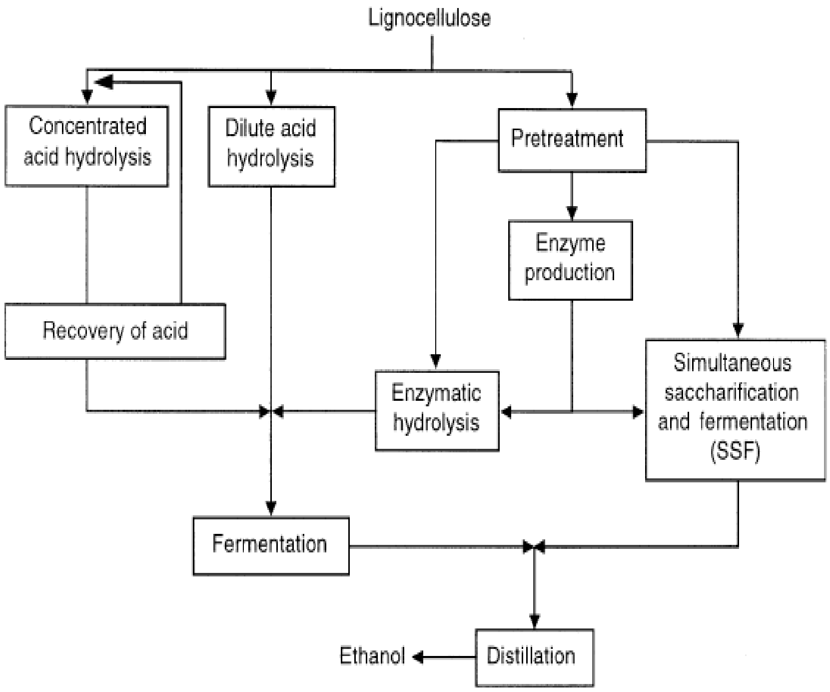
再生能源種類甚多，利用作物產出能源是可行的方法之一種。玉米、大豆、大麥、小麥、稻米等大宗穀物雖可用於醱酵或加工產出能源，但會嚴重排擠供應人類與畜牧業的需要量。地球上之陸生植物每年可生產乾重 1.3×10^{10} 公噸之木柴 （碳水化合物占 70%） ，纖維物質是其主要成份，含許多木質纖維素（由纖維素、半纖維素及木質素所組成)，可作為生產酒精之基質；除了木柴外，農業作物也會產生許多富含木質纖維素的纖維物質廢棄物。故木質纖維素 (lingo-cellulose) 是地球上蘊藏量最豐富之再生性天然資源。在臺灣每年據估計約產生稻草 1,433,611 公噸 (40% 纖維素、 18% 半纖維素) 、稻殼 （粗糠） 286,722 公噸 (26% 纖維素、 13.5% 半纖維素) 、廢棄菇類木屑 87,800 公噸 （鄭宏德等人， 2005） 及玉米穗軸約 200,000 公噸、甘蔗渣 1,055,581 公噸 (40% 纖維素、21% 半纖維素；周楚洋， 1998） 、香蕉植株 2,000,000 公噸 (27% 澱粉、 24% 纖維素)。我們若能有效的將上述農業固體廢棄物轉化成乙醇，不僅可以解決目前處理這些廢棄物所遭遇的問題，還可將這些無用的廢棄物變成高價值之產品。配合良好的規劃與栽培適當種類作物，我們應可發展出一套適合我國特性之技術，有效的將含木質纖維素的纖維物質轉化為乙醇，以減緩我國對進口能源之依賴。

木質纖維素物質比糖質與澱粉質物質較不容易產出乙醇原因

使用木質纖維素來生產乙醇要較使用玉米澱粉更為困難，主要原因是將木質纖維素分解為簡單醣類之過程較為複雜。木質纖維素中僅纖維素與半纖維素可被水解成簡單醣供酵母菌利用。木質纖維素不易被水解的三個原因：1. 其纖維素與半纖維素結合在一起，2. 纖維素被木質素包圍並與半纖維素形成共價結合，3. 許多纖維素為結晶型構造。因此在進行纖維素分解之前，必須先經適當之前處理。植物性纖維物質主要成分為纖維素、半纖維素及木質素，亦可合稱為木質纖維素 (lignocellulose) (Wang, 1980) ，於自然界中存在之纖維物質皆由上述三種主要成分依不同比例組合而成，一般而言纖維素的百分率最高其次為半纖維素 (Kadam *et al*, 2000) ，三種主要成分會單一或互相之間糾纏而形成具有高度結晶性且複雜之結構。故植物性纖維物質須先將其纖維素、半纖維素及木質素之結構改變及醣化後，才較容易供微生物進一步醱酵產出乙醇。

利用含豐富木質纖維素物質產出乙醇

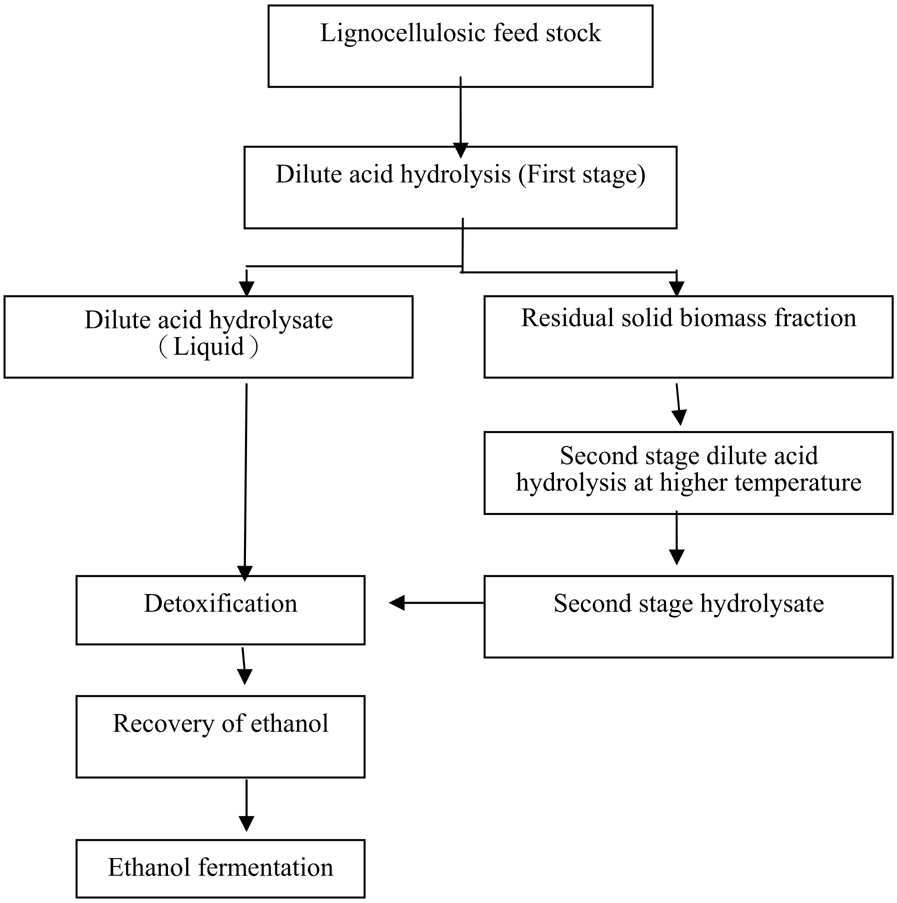
利用含豐富木質纖維素之纖維物質產出乙醇之方式可歸納為三種。第一種方式為用稀酸高溫先行水解半纖維素與纖維素為木糖與葡萄醣等單糖後，供微生物進行醱酵產出乙醇；第二種方式為用濃酸低溫先行水解半纖維素與纖維素為木糖與葡萄醣等單糖後，供微生物進行醱酵產出乙醇；第三種方式則是木質纖維素先經前處理後，利用酵素水解半纖維素與纖維素為簡單糖類後，供微生物醱酵產出乙醇 （圖一） 。茲分述如下：



圖一、木質纖維素經酸水解或酵素水解後進行醱酵產出乙醇之示意圖

一、用稀酸配合高溫先行水解木質纖維素中之半纖維素與纖維素為木糖與葡萄醣等單糖後，供微生物進行醱酵產出乙醇

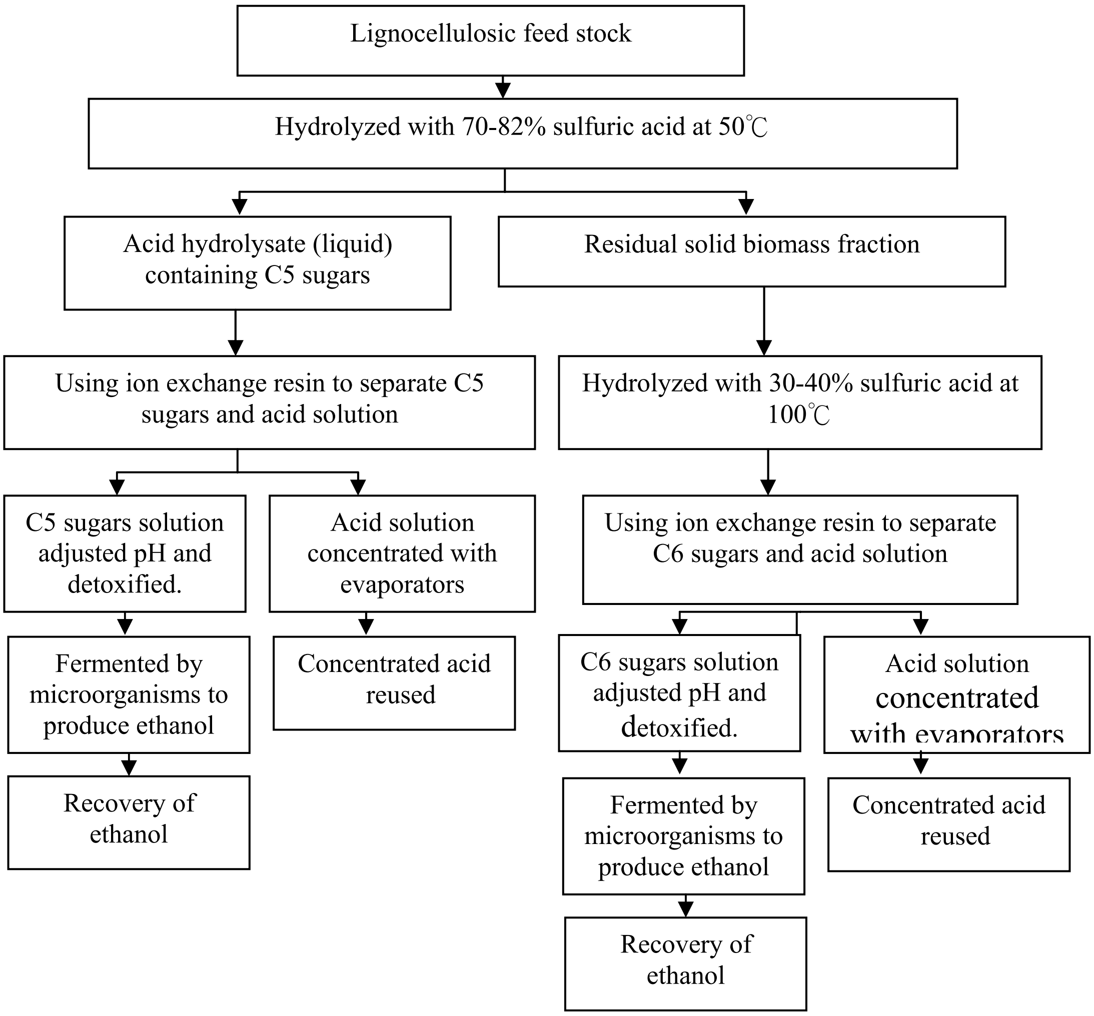
用稀酸水解木質纖為素時，是先以較低溫度配合短時間水解，將半纖維素分解為木糖及其它簡單糖類。首先木質纖維素與稀硫酸混合，加熱至 50℃，移至第一階段的水解容器內，加熱使溫度升至 190℃，然後將稍為降低溫度經 2 小時，將水解液中的寡糖完全水解為木糖等單糖，然後將水解液與固體分離。固體則移至第二階段的水解容器內，以相同濃度的酸配合較高的溫度 （230℃） 將固體水解為葡萄糖。通常稀酸水解所用的硫酸濃度是低於 1% ，溫度設定範圍為 120-220℃（Nigam, 2002; Sun and Cheng, 2002; Dien *et al.*） 。第一階段水解容器內含木糖等單糖水解液與第二階段水解容器內含葡萄糖水解液分別接種合適微生物，進行醱酵以產出乙醇 （圖二） 。



圖二、用稀酸水解木質纖維素中之半纖維素與纖維素為木糖與葡萄醣等單糖後，供微生物進行醱酵產出乙醇之流程。

二、用濃酸配合低溫先行水解木質纖維素中之半纖維素與纖維素為木糖與葡萄醣等單糖後，供微生物進行醱酵產出乙醇

第一階段水解是以 70-82% 硫酸與木質纖維素混合，置於 40-50 ℃ 溫度條件下作用 2 小時至 4 小時，此階段可以將木質纖維素中的半纖維素水解為木糖等單糖。將第一階段水解後之水解液與固體分離，固體則進行第二階段的水解。由第一階段水解所產出的固體與 30-40% 硫酸混合，於 100 ℃溫度條件下經作用 50 分鐘，將含有葡萄糖的水解液與不能水解的木質素分離 （圖三） 。由兩階段水解所獲得的水解液則分別可供合適的微生物進行醱酵以產出乙醇 （Anuj *et al.*, 2007） 。



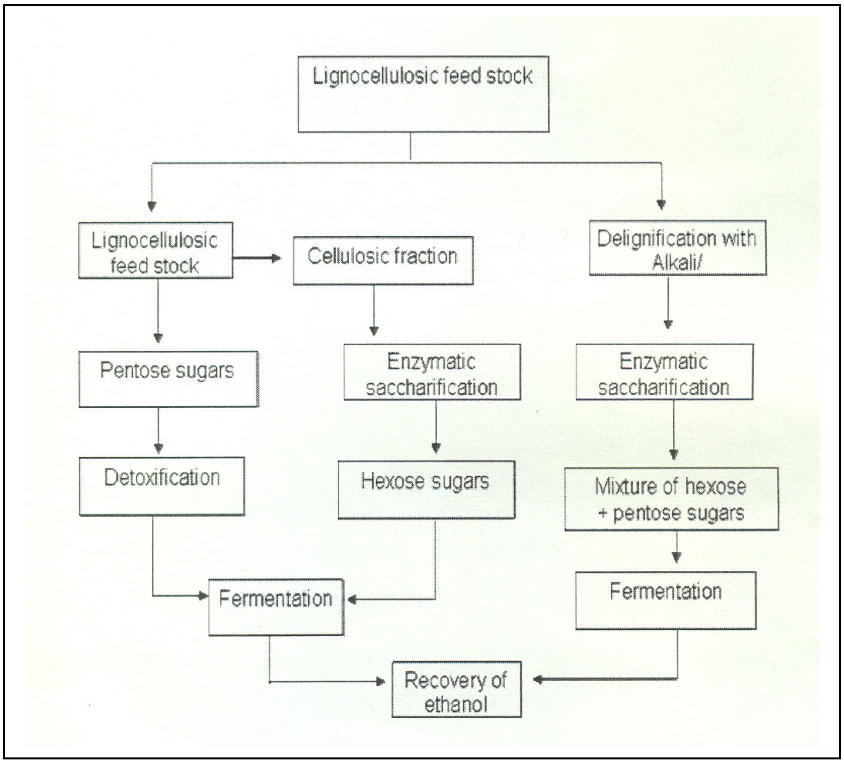
圖三、用濃酸水解木質纖維素中之半纖維素與纖維素為木糖與葡萄醣等單糖後，供微生物進行醱酵產出乙醇之流程。

以酸水解木質纖維素生成單糖，則有幾個缺點： 1. 酸會對容器造成腐蝕、 2. 纖維物質以濃酸水解後需要使用大量石膏等鹼性物質來調整酸鹼值、 3. 水解後之纖維物質僅能釋出 50-60% 理論值之單醣量、 4. 纖維物質經酸水解後會產生呋喃醛 (furfural) 、 5-羥基甲基呋喃醛 (5-hydroxymethyl-furfural) 、有機酸與酚類化合物，會抑制釀酒微生物之生長。而此些醱酵抑制物可以用加入大量石灰（碳酸鈣）中和、以酵素（如漆酶， laccase）分解、用活性碳與離子交換吸附去除（Martinez et al., 2000; Martin *et al.*, 2002; Nilvebrant, 2001）。

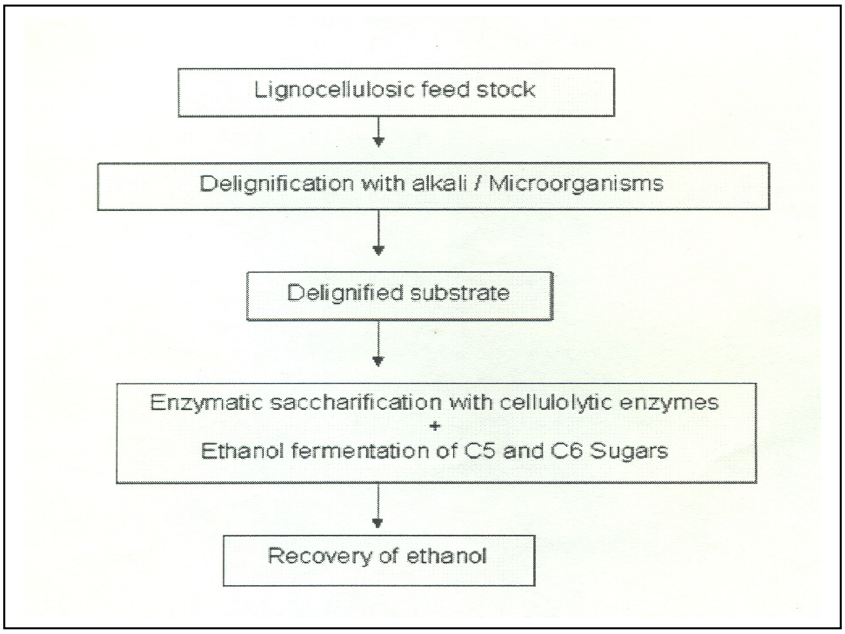
三、木質纖維素先經前處理再以酵素水解半纖維素與纖維素為木糖與葡萄糖等單糖，供微生物進行醱酵產出乙醇

前處理目的是要改變木質纖維物質的大小與結構（structure），讓碳水化合物聚合物成份比較快速水解為單糖以及獲得較高的單糖產率（Moiser *et al*., 2005）。前處理可以讓半纖維素溶解（solubilizing hemicellulose）、減低木質纖維素的結晶性及增加有效的表面積與孔洞體積。酵素很難水解天然的木質纖維素，經若前處理先將木質素與半纖維素由木質纖維素移除，則纖維素會變為較容易被水解。前處理的方法有以機械粉碎、以氨氣爆破（Kim *et al*., 2003）、用蒸氣爆破（Gregg and Saddler, 1996）、酸或鹼前處理（Kuhad *et al*., 1997 與 Damaso *et al*., 2004）及生物處理（Keller *et al*., 2003）。

木質纖維素先經前處理後，通常再以混合水解酵素（纖維分解酵素、半纖維分解酵素等）或微生物水解為木糖與葡萄糖等單糖（Kuhad *et al*., 1997; Itoh *et al*., 2003; Tucker *et al*., 2003），供微生物醱酵產出乙醇。酵素水解產出單糖的步驟與微生物醱酵單糖產出乙醇的步驟分開進行 (separate hydrolysis and fermentation process, SHF process)（圖四）之好處為可以讓酵素於較高的溫度下快速且有效率的進行水解半纖維素與纖維素為木糖與葡萄糖，微生物在較溫和低溫條件下進行最有效率的醱酵，以產出乙醇（Sheehan *et al*., 2003; Wingren et al., 2003）。酵素水解半纖維素與纖維素產出木糖與葡萄糖等單糖的步驟與微生物醱酵單糖產出乙醇的步驟亦可同時再同一容器內同步進行（simultaneous saccharification and fermentation, SSF process）（圖五），SSF process 雖然於操作上比較方便，但它的缺點是纖維素水解為葡萄糖的速率低及微生物不可能醱酵水解液中的各種單糖產出乙醇（Anuj *et al*., 2007）。



圖四、木質纖維素之水解產出單糖過程與微生物醱酵單糖產出乙醇過程分別於不同容器內進行（SHF process）之流程。



圖五、木質纖維素之水解產出單糖過程與微生物醱酵單糖產出乙醇過程於不同容器內進行（SSF process）之流程。

以含木質纖維素豐富的纖維物質產出乙醇仍需努力的事項

1. 篩選具高活性纖維素酶、半纖維素及木質素酶之菌株。
2. 如何降低纖維素酶與 laccase 之價格。
3. 建構具多功能之纖維素酶 (chimeric enzyme) 。
4. 使酒精生產菌株能利用木質纖維素所含之所有碳水化合物。
5. 讓酒精生產菌株能耐受木質纖維素水解產物中所含之有毒物質。
6. 將綠色技術之概念引入生產程序中。

參考文獻

周楚洋。1998。農業廢棄物處理之回顧與前瞻。高知武教授紀念研討會文輯。第六篇。國立臺灣大學農業機械系編印。

鄭宏德、江國瑛、蔡永興、張耀民、黃傳安、洪怡芳、邱文琳、李佩玲。2005。農業廢棄物產出、再利用情形調查與管理制度建立計畫報告。環保署編印。278 頁。

Wang S. D. 1980. Kinetics of rice hull hemicellulose hydrolysis and potential of using its hydrolysate for acetic production. J. Chinese Agr. Soc. 18：66-79.

Anuj K. C., E. S. Chan, R. Rudravaram, M. L. Narasu, L. V. Rao and P. Ravindra. 2007. Economice and environmental impact of bioethanol production technologies: an appraisal. Biotechnology and Molecular Biology Review 2(1):14-32.

Damaso M., C. Mde, R. M. Castro, M.C. Andrade and N. Pereira. 2004. Application of xylanase from *Thermomyces lanuginosus* IOC-4145 for enzymatic hydrolysis of corncob and sugarcane bagasse. Appl.Biochem. Biotechnol. 115:1003-1012.

Gregg D. J., J. N. Saddler. 1996. Factors affecting cellulose hydrolysis and the potential of enzyme recycle to enhance the efficiency of an integrated wood to ethanol process. Biotechnol Bioeng. 51:375-383.

Itoh H, M. Wada, Y. Honda, M. Kuwahara and T. Watanabe. 2003. Bioorganasolve pretreatments for simultaneous saccharification and fermentation of beech wood by ethanolysis and white-rot fungi. J. Biotechnol. 103(3):273-280.

Kadam, K. L., Forrest L. H. and W. A. Jacobson. 2000. Rice straws lignocellulosic resource：collection, processing, transportation, and environmental aspects. Biomass and Bioeng. 18:369-389.

Kim H. T., J. S Kim, C. Sunwoo and Y. Y. Lee. 2003. Pretreatment of corn stover by aqueous ammonia. Biores Technol. 90:39-47.

Kuhad R. C., A. Singh and K. E. Ericjsson. 1997. Microorganisms and enzymes involved in the degradation of plant fiber cell walls. Adv Biochem Eng Biotechnol 57:45-125.

Martin C, M. Galbe, C. F. Wahlbom, B. H. Hagerdal and L. J. Jonsson. 2002. Ethanol production from enzymatic hydrolysates of sugarcane bagasse using recombinant xylose-utilising *Saccharomyces cerevisiae*. Enz. Microb. Technol. 31:274-282.

Martinez A, M. E. Rodriguez, S. W. York, J. F. Preston and L. O. Ingram. 2000. Effects of $Ca(OH)_2$ treatments (“overliming”) on the composition and toxicity of bagasse hemicellulose hydrolysates. Biotechnol Bioeng. 69:526-536.

Moiser N, C. Wyman, B. Dale, R. Elander, Y. Y. Lee, M. Holtzapple and M. Ladisch. 2005. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass Biores. Technol. 96:673-686.

Nigam J. N. 2002. Bioconversion of water-hyacinth (Eichhorniacrassipes) Hemicellulose acid hydrolysate to motor fuel ethanol by xylose-Fementing yeast. J. Biotechnol. 97:107-116.

Nilvebrant N, A. Reimann, S. Larsson and L. J. Jonsson. 2001. Detoxification of lignocellulose hydrolysates with on exchange resins. Appl. Biochem. Biotechnol. 91-93:35-49.

Sheehan J, A. Aden, K. Paustian, K. Killian, J. Brenner, M. Walsh and R. Nelson 2003. Energy and environmental aspects of using com stover for fuel ethanol. J. Ind. Ecol. 7:117-146.

Sun Y and J. Cheng. 2002. Hydrolysis of lignocellulosic Materials for ethanol production: a review Biores Technol.83:1-11.

Tucker M. P., K. H. Kim, M. M. Newman and Q. A. Nguyen. 2003. Effects of temperature and moisture on dilute-acid steam explosion pretreatment of corn stover and cellulose enzyme digestibility. Appl Biochem Biotechnol 10:105-108.

Wang S. D. 1980. Kinetics of rice hull hemicellulose hydrolysis and potential of

using its hydrolysate for acetic production. J. Chinese Agr. Soc. 18:66-79.
Wingren A, M. Galbe, D. Zacchi. 2003. Techno-Economic evaluation of producing ethanol from softwood: comparison of SSF and SHF and identification of bottlenecks. Biotechnol. Prog. 19:1109-1117.

國家圖書館預行編目資料

綠色油田在農業永續發展扮演的角色研討會專刊/林俊義、蔡武雄、廖慶樑主編

初版—臺中縣霧峰鄉：行政院農業委員會農業試驗所、中華永續農業協會

2007.12

133 面：19x26 公分--（行政院農業委員會農業試驗所特刊第 132 號）

ISBN 978-986-01-2649-5（精裝）

1. 農作物
2. 永續農業
3. 能源政策
4. 文集

434.9907　　　　96025662

綠色油田在農業永續發展扮演的角色研討會專刊

發行人：林俊義

出版者：行政院農業委員會農業試驗所、中華永續農業協會

主　編：林俊義、蔡武雄、廖慶樑

執行編輯：簡宣裕、張明暉、劉禎祺

地址：臺中縣霧峰鄉中正路 189 號

電話：04-23302301

網址：http：//www.tari.gov.tw

承印者：世泓興業有限公司

地　址：臺中市國光 373 號　　電話：04-22850137

展售處：國家書坊臺視總店

臺北市八德路三段 10 號　02-25781515 轉 284

五南文化廣場

臺中市中山路 6 號　04-22260330 轉 27

出版年月：2007 年 12 月

版次：初版

ISBN：978-986-01-2649-5

GPN：1009604289

售價：新臺幣 200 元整

版權所有　翻印必究

ISBN 978-986-01-2649-5

9 789860 126495